UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU

LEONARDO VIDIGAL MEIRELES

AUTOMAÇÃO DE COMPRESSORES CENTRÍFUGOS

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2013

Leonardo Vidigal Meireles

AUTOMAÇÃO DE COMPRESSORES CENTRÍFUGOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Ronilson Rocha

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

MAIO / 2013

Monografia defendida e aprovada em 15 de maio de 2013 pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Ronilson Rocha – Professor Orientador

Prof. Msc. João Carlos Vilela de Castro - Professor Convidado

Prof. Msc. Danny Tonidandel – Professor Convidado

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar todas as condições para lutar por meus objetivos, principalmente a saúde e a força para recomeçar após cada tropeço. Aos meus pais e irmãos agradeço por todo o apoio, amor e incentivo nas horas mais difíceis, em especial, ao pai e a mãe por todo sacrifício que fizeram para que meus irmãos e eu tivéssemos mais oportunidades que eles, amo muito vocês. À Paula agradeço pelo amor e companheirismo, e principalmente pela paciência nos momentos de longos períodos distantes e por ouvir minhas lamentações e sempre dizer que tudo vai dar certo. Ao professor Ronilson Rocha pela orientação, apoio e amizade nesses meses de desenvolvimento desse trabalho. Agradeço a SAMARCO MINERAÇÃO S/A, em especial ao departamento de Automação de Germano pelos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de trabalho e por fornecer todas as condições para que esse projeto se realizasse, assim como por demonstrar confiança em meu trabalho.

RESUMO

A geração de ar para equipamentos de flotação é fundamental na obtenção de bons resultados nos processos de beneficiamento mineral. Os tanques de flotação, chamados de *tank cell* pelo fabricante e detentor da patente, são equipamentos que necessitam de ar em alta vazão a baixas pressões, o que limita o uso de equipamentos geradores de ar aos sopradores de ar, *blowers*. Essas máquinas são compressores centrífugos dotados de turbinas de vários estágios. Os sopradores de ar são fornecidos juntamente com os tanques de flotação e são controlados por um sistema de controle embarcado, o que dificulta a integração ao sistema de controle da planta. Esse sistema de controle não permite o acesso à estratégia de controle da máquina e possui baixa eficiência, principalmente no que diz respeito aos diagnósticos de falhas, eventos e histórico de alarmes do equipamento. Esses problemas geram perdas de produção causadas por paradas das máquinas e à dificuldade de solução de problemas devido à falta de informações, motivando a integração desses equipamentos ao sistema de controle e supervisão da planta, o DeltaV. Devido ao fornecedor não disponibilizar a estratégia de controle, uma engenharia reversa baseada em revisão bibliográfica, operação assistida e reengenharia do sistema se fez necessária, com intuito de levantar informações para execução do projeto. De posse dos dados necessários a automação desses equipamentos foi realizada, trazendo novas funcionalidades, facilitando e agilizando as ações da operação e manutenção, inclusive melhorando o desempenho do controle anti-surto, estratégia que evita a ressonância na máquina devido a baixa vazão de ar na saída, assim o projeto trouxe benefícios para o processo produtivo, aumentando sua estabilidade.

Palavras chave: engenharia reversa, anti-surto, tankcell, sopradores de ar, compressores centrífugos, blowers.

ABSTRACT

The air generation of flotation equipments is critical to obtain good results in mineral beneficiation processes. The flotation tanks, called Tank Cell by the manufacturer and the patentee are devices that require high air flow at low pressures, which limits the use of air generating equipments to air blowers, blowers. These machines are equipped with centrifugal compressors provided of turbines with many stages. The air blowers are provided with flotation tanks and are equipped with an embedded control system, which makes the integration into the control system of the plant. This control system does not allow access to the control strategy of the machine and has low efficiency, especially in the fault diagnosis, event and equipment alarm history. These problems generate output losses caused by shutdowns of machines and difficulty in solving problems due to information lack, motivating the integration of these devices to the control system and plant supervision, DeltaV. Because the supplier does not provide the control strategy, reverse engineer based on literature review, assisted operation and reengineering of the system were necessary, in order to gather information for the project. The necessary data to the automation of these devices was performed, bringing new features, facilitating and speeding up the actions of operation and maintenance, improving the performance of the anti-surge control, strategy that avoids resonance in the machine due to low air flow in output. So the project has brought benefits to the productive process, increasing its stability.

Keywords: reverse engineering, anti-surge, tankcell, air blowers, centrifugal compressors, blowers.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, as jazidas minerais de alto teor tem se tornado cada vez mais escassas, principalmente pelo grande aumento da demanda por esses recursos. Essa tendência tem provocado a necessidade de tratamento de minerais cada vez mais pobres, o que obriga a indústria mineral a investir em novas tecnologias para aprimorar seus métodos de tratamento a fim de aumentar a qualidade do minério sem perder competitividade no mercado (GUIMARÃES; PERES, 1997).

A flotação é um dos principais métodos de concentração de minério de ferro, sendo dividida principalmente em duas partes, a flotação mecânica através de células e tanques que utilizam agitação mecânica e a flotação em colunas onde não há agitação mecânica. Em ambas a injeção de ar é fundamental no processo de recuperação do mineral a ser flotado (CHAVES, 2006).

O conceito inicial de flotação surgiu ainda no século XIX com os irmãos Bessel, em 1887, na recuperação de grafita com óleo, porém a primeira patente ocorreu apenas em 1906. Seu sucesso é em grande parte devido à versatilidade e seletividade, o que permite concentrados de alto teor e alta recuperação oferecendo um bom custo-benefício (LUZ; SAMPAIO; ALMEIDA, 2004).

Diversos métodos de flotação foram testados a fim de aperfeiçoar os resultados desse processo, entre eles, a flotação em *tank cells* que tem ganhado grande representatividade devido aos bons resultados oferecidos por esse tipo de equipamento.

O *tank cell* é basicamente uma célula tanque com grande volume e mecanismo de agitação localizado no fundo, perto do ponto de alimentação de polpa. Este posicionamento assegura que as partículas ao entrarem na célula sofram uma forte agitação, entrando imediatamente na zona de reação entre bolhas e partículas. Além dessa vantagem em promover um melhor contato ar e bolha, o volume de material tratado é superior ao de uma célula convencional. Outra característica importante do equipamento é que necessita de uma grande vazão de ar fornecido a uma baixa pressão, sendo o movimento mecânico de rotação o responsável pela formação das correntes de ar ascendentes que promovem a interação partícula e bolha (OUTOKUMPU, 2004).

Por essa característica do ar, alta vazão a baixa pressão, faz-se necessário o uso de um equipamento específico para geração de ar, trata-se dos popularmente conhecidos sopradores

de ar. Os sopradores são compressores centrífugos multi turbinados, capazes de bombear ar nessas condições e com alta disponibilidade e baixa manutenção.

Os sopradores de ar são equipamentos robustos e geralmente de grande porte, porém de alta complexidade no que diz respeito ao sistema de controle. Por isso um completo monitoramento e controle sobre suas principais variáveis são essenciais. Para isso é necessário que um eficiente sistema de automação associado a uma instrumentação de qualidade seja utilizado em todo o processo e principalmente no soprador. Por esses motivos, essas plantas possuem um alto índice de automação, sendo esse o tema principal desse trabalho.

A automação de sopradores de ar possui um ponto crítico a ser estudado, trata-se do controle anti-surto. Esse envolve uma estratégia de controle com intuito de evitar que o equipamento entre em ressonância, o que pode lhe causar danos, prejudicando a produção, além de envolver risco à saúde e segurança de pessoas e ao meio ambiente.

O fenômeno de ressonância em aparelhos centrífugos caracteriza-se por uma vazão limite abaixo da qual o equipamento não pode mais suportar a pressão ou a depressão necessária para a transferência de fluído de um meio com uma pressão inferior a outro com uma pressão superior. Cria-se, abaixo dessa vazão, uma inversão de vazão que modifica as pressões de ambos os meios e reestabelece o funcionamento da máquina enquanto uma condição idêntica não for atingida. O fenômeno se repete em ciclos, a uma frequência muito baixa, geralmente alguns Hz, que varia em função da instalação, até que se consiga aumentar a vazão. O funcionamento nessas condições deve ser totalmente evitado pois, além da inversão de vazão, provoca a inversão do impulso axial sobre o eixo, o que conduz a um esforço excessivos dos rolamentos. Em equipamentos de grande porte, cujas taxas de compressão são elevadas, o bombeamento pode ser tão brusco a ponto de provocar danos irreversíveis nas partes rotativas e nos dutos. Dessa forma, é necessário providenciar um circuito de proteção, adaptando uma descarga para atmosfera, que também deve ser utilizada nas partidas e paradas (CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006).

Por ser um equipamento não muito comum existem poucas empresas especializadas em sua fabricação, nenhuma delas no Brasil, o que torna o mercado dessa máquina pouco competitivo e monopolizado. Muitas vezes sua venda está atrelada à dos tanques de flotação, e quase sempre são fornecidos às indústrias como projetos *turn kee*. O que a uma primeira impressão é bom, podendo se tornar um problema no futuro, pois torna as empresas

dependentes do fabricante, principalmente para efetuar a manutenção do equipamento, além de dificultar a integração com o sistema de automação das plantas.

1.1 Objetivo

Desenvolver o estudo da automação do sistema de geração de ar para as os tanques de flotação, o soprador de ar, da usina de concentração de minério de ferro da Samarco Mineração SA em Mariana, Minas Gerais. O propósito é substituir o sistema original de controle deste equipamento, ao qual o cliente não tem acesso, sem perda de funcionalidades ou proteções, além de incorporar facilidades nos diagnósticos de falhas. Uma das principais necessidades de estudo consiste no controle anti-surto, o qual é essencial para garantir a proteção do equipamento. Um processo de engenharia reversa é realizado visando desvendar o funcionamento do equipamento e do sistema de controle embarcado. A programação do equipamento será refeita com o propósito de permitir um controle remoto e acesso aos diagnósticos de falhas, facilitando a manutenção e gerando um ganho de confiabilidade.

1.2 Metodologia

A metodologia adotada neste processo consiste em:

- Revisão bibliográfica: busca de literatura específica com o propósito de avaliar informações pertinentes ao equipamento a ser estudado e ao processo em que o mesmo se aplica;
- Estudo do manual de operação e manutenção: avaliação de dados técnicos que permitam compreender o funcionamento do equipamento para reprodução do programa de controle tais como potência, vazão de ar, corrente nominal, parâmetros operacionais e de manutenção, etc;
- Operação assistida: as operações do equipamento são observadas detalhadamente a fim de identificar suas características durante as partidas, paradas e em operação normal. Esta etapa é extremamente importante para se avaliar os parâmetros que garantam que as funções de controle sejam aperfeiçoadas;
- Projeto do sistema de controle: realizado com base nos dados levantados durante o processo de investigação;

- Implantação das modificações na planta: a etapa mais complexa, uma vez que o equipamento é essencial para operação da planta e intervenções somente podem ocorrer durante as paradas da usina para manutenção.

1.3 Motivação

Como se trata da única fonte de ar para os tanques de flotação, o soprador é equipamento extremamente crítico para a operação da usina de beneficiamento, cuja parada não programada paralisa a produção causando uma perda da ordem de milhões de reais.

Uma vez que o sistema de controle embarcado do equipamento não é acessível, a sua manutenção e o diagnóstico de falhas são dificultados. Além disso, os painéis de comando e de instrumentos apresentavam má qualidade, associado ao não cumprimento dos padrões e normas utilizados na planta.

Após a análise do histórico de paradas dos equipamentos no sistema gerencial da planta, constatou-se um grande número de falhas associado a um alto tempo de manutenção, o que levou à conclusão de que uma reengenharia seria necessária para aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos sopradores de ar.

1.4 Estrutura

A organização do trabalho será apresentada em capítulos da seguinte forma:

- O Capítulo 1 é empregado para apresentar uma introdução da monografia com uma descrição sucinta do projeto.
- O Capítulo 2 aborda os principais conceitos relacionados ao processo, ao equipamento e à estratégia utilizada no desenvolvimento do trabalho.
- O Capítulo 3 contempla a principal ferramenta utilizada no projeto, o sistema de controle distribuído da Emerson Process Management, o DeltaV.
- O Capítulo 4 é empregado para descrever o desenvolvimento do projeto, levantamento das variáveis, as mudanças necessárias em campo, as configurações realizadas e a implantação das modificações.
- O Capítulo 5 é empregado para apresentar os resultados obtidos com o projeto, a interface de supervisão, os testes de comissionamento e a liberação para operação.
- O Capítulo 6 apresenta as conclusões do projeto assim como os benefícios alcançados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante o projeto de automação dos sopradores de ar foi necessário estudar áreas específicas a fim de levantar material para o desenvolvimento do trabalho, assim, são apresentadas as referências aos trabalhos de outros autores, além de manuais técnicos utilizados como base para o desenvolvimento de um referencial teórico a ser seguido. Este capítulo está dividido em tópicos para facilitar o entendimento e trazer uma organização do material.

2.1 Engenharia reversa

A Engenharia Reversa é um processo de análise de um artefato, equipamento ou software, detalhando seu funcionamento, geralmente com a intenção de reconstruí-lo com as mesmas funções ou aperfeiçoá-lo. Faz-se engenharia reversa quando se precisa trocar ou modificar algo por outro, com as mesmas características, mas não se tem todas as informações. Geralmente, trata-se de produtos obsoletos sobre os quais não se tem informações suficientes, ou seja, pouca documentação e histórico (PONTICELLI; SUSKI, 2009).

> Por exemplo, numa fábrica, uma bomba falhou e tem que ser trocada por uma nova. A bomba foi instalada há 25 anos e as pessoas que fizeram o trabalho se aposentaram há muito tempo. A empresa que vendia essas bombas não existe mais. A fábrica tem que encontrar uma nova bomba, com exatamente as mesmas características. A bomba tem que ser montada sobre a tubulação existente (dimensões definidas, como a bomba está fixada, volume ocupado pela bomba, etc.) que são características fáceis de descobrir, mas podem também existir outras menos evidentes (a bomba tem que fornecer uma vazão definida, ela precisa respeitar algumas restrições desconhecidas). A empresa deve avaliar o nível de importância das características da bomba, antes de realizar a compra da mesma (JUNIOR et al., 2005).

Não se tem registros de quando iniciou a prática da engenharia reserva, fato é que foi amplamente utilizada em nossa história, seja em períodos de guerra, com intuito de dominar tecnologia inimiga ou na indústria para solução de problemas. Com o avanço tecnológico, cada vez mais se tem utilizado essa técnica, estando-a diretamente envolvida em questões judiciais relacionadas à quebra de patentes.

> A Engenharia Reversa é uma metodologia de projeto que atrai grande interesse, pois sua utilização permite a criação de novos produtos em intervalos menores e com maiores possibilidades de sucesso se comparada às metodologias convencionais. O menor investimento financeiro e prazos reduzidos de desenvolvimento já são por si só importantes, mas o fato de lançar um produto novo baseado em algo que já obteve o reconhecimento do mercado é, talvez, o maior dos atrativos, principalmente pela redução dos riscos do investimento feito (NOGUEIRA; LEPIKSON, 2006).

Mas além das questões legais que podem envolver essa prática, temos na mesma uma forte aliada para soluções de problemas dentro das indústrias. Cada vez mais são desenvolvidas ferramentas que auxiliam nessa tarefa em todo o mundo, tornando essa uma área de desenvolvimento cada vez mais promissora. Nesse trabalho é abordada uma metodologia com apoio da engenharia reversa para que a lógica de controle de um equipamento seja reprogramada mantendo suas funcionalidades e adicionando melhorias para facilitar sua manutenção.

2.2 Compressor Centrífugo

O soprador de ar, *blower,* o equipamento responsável pelo fornecimento de ar para a flotação em *tank cells,* figura 2.1, segundo (CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006), é um compressor centrífugo e sua estrutura é semelhante à de um compressor comum, porém é constituído por turbinas de múltiplos estágios, o que aumenta sua capacidade de bombeamento de ar. No caso dos sopradores estudados, essa vazão de ar pode ser de até 10.800 m^3/h.

FIGURA 2.1 – Compressor centrífugo multi turbinado.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2011.

O equipamento é composto por um sistema que possui uma série de assessórios com funções específicas para garantir o funcionamento e a proteção da máquina, os principais estão listados na tabela 2.1 com suas respectivas descrições, assim como identificados no diagrama da figura 2.2.
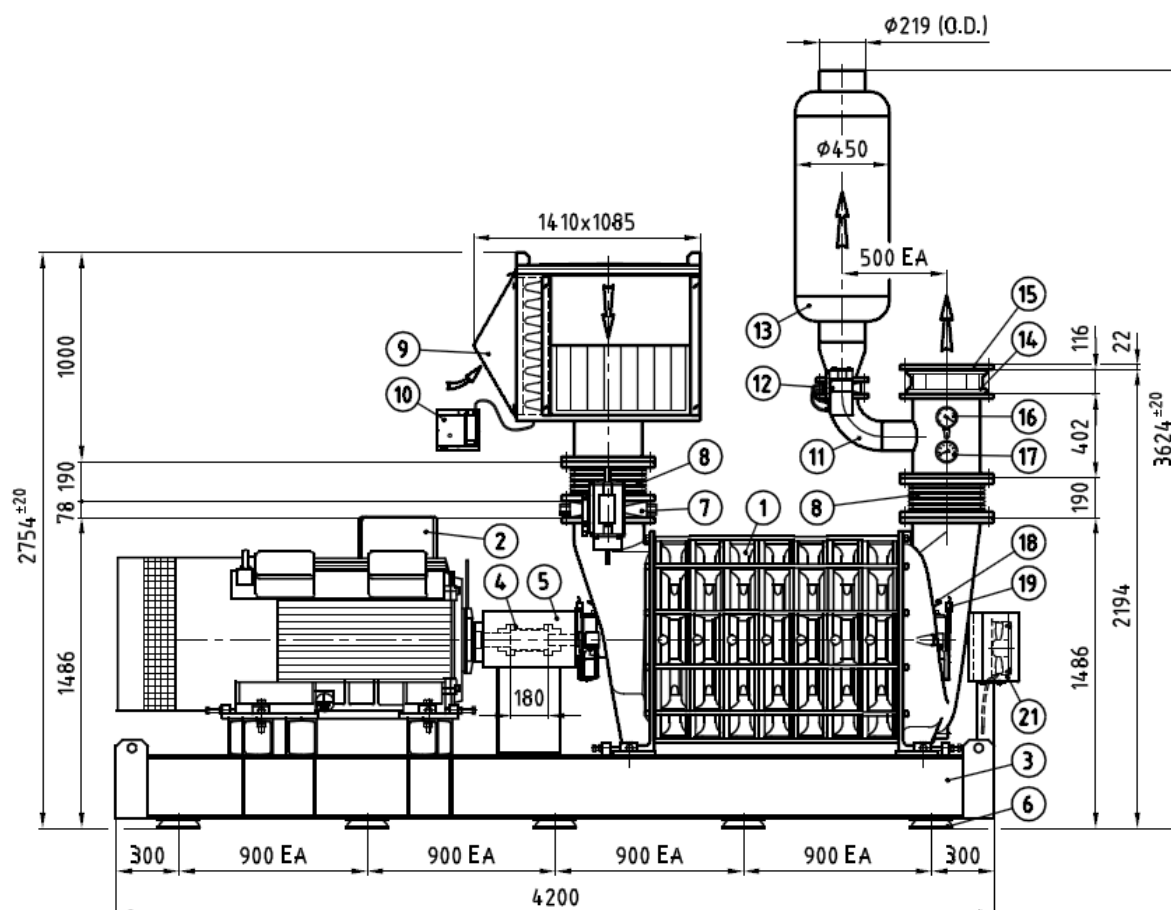
FIGURA 2.2 – Digrama dimensional.
Fonte: CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006.

TABELA 2.1 – Principais componentes do soprador.

ITEM	DESCRIÇÃO
1	Compressor centrífugo, blower.
2	Motor 300KV – 2 polos – 4160V/3/60Hz – IPW55.
3	Base de sustentação.
4	Acoplamento lado motor.
5	Acoplamento de proteção.
6	Suporte anti-vibração.
7	Válvula pneumática de entrada, ON/OFF.
8	Junta de dilatação em aço inoxidável.
9	Filtro de sucção.
10	Indicador de contaminação do filtro.
11	Redução DN300-DN125.
12	Válvula pneumática com posicionador 4 a 20 mA.
13	Silenciador flangeado.
14	Válvula de retenção.
15	Flange DN300 PN100.
16	Manômetro 0 a 1 bar.
17	Termômetro 0 a 160°C.
18	Sensores de temperatura do ar do soprador PT100.
19	Sensores de vibração do soprador 4 a 20 mA.
21	Ventilador do rolamento.

Fonte: CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006.

- Válvula de admissão: localizada na linha de entrada de ar, essa válvula é do tipo ON/OFF, sendo acionada pelo sistema de controle, sua função é aprovisionar ar para o soprador.
- Filtro de ar: filtra o ar que é aspirado pelo equipamento para evitar que contaminantes atmosféricos possam interferir no funcionamento ou danificá-lo. No filtro existe um sensor de filtro sujo por diferencial de pressão, PDSH, com função de alertar para a necessidade de limpeza do mesmo a fim de evitar danos à máquina.
- Motor: é o responsável por fornecer energia mecânica ao soprador para que o mesmo possa executar trabalho. Trata-se de um motor de indução trifásico de 200cv cuja tensão de alimentação é 4160 Volts.
- Turbina: possui vários estágios de compressão por onde passa o ar, sua principal função é aumentar a potência do soprador e consequentemente a produção de ar.
- Válvula de escape: está localizada em uma bifurcação na linha de saída de ar, é uma válvula do tipo proporcional, sendo acionada pelo sistema de controle. Sua finalidade é liberar ar para atmosfera quando a planta exigir pouca vazão

de ar do soprador, o que causaria um diferencial de pressão internamente e poderia levar o equipamento a entrar em ressonância.

- Sensores de temperatura: o equipamento possui instrumentos de medição de temperatura do ar de entrada e saída, além dos enrolamentos do motor e dos mancais. Além de possibilitar o monitoramento e o histórico dessas variáveis, são fundamentais na proteção do equipamento sendo utilizados pelo sistema de controle para alertar e desligar a máquina em caso de temperaturas muito altas.
- Sensores de vibração: o soprador possui sensores de vibração instalados nos mancais com intuito de proteção, ou seja, desligamento pelo sistema de controle em caso de altas vibrações. Além disso, o monitoramento dessas informações pode apontar que componentes de desgaste como rolamentos precisam ser substituídos, antes mesmo que esses estejam danificados e causem paradas não programadas para manutenções corretivas.
- Sensores discretos: são utilizados para sinalizar entupimento dos filtros de ar ou abertura e fechamento da válvula de admissão de ar. Essas informações são estritamente necessárias no sistema de controle para garantir uma operação normal da máquina.
- IHM: interface homem-máquina com controlador embutido. O sistema de controle do soprador está localizado em um painel instalado em campo próximo ao equipamento. Esse controlador recebe dados dos instrumentos de campo e envia comandos ao relé responsável pelo acionamento do motor. Na IHM é possível observar as condições de operação, diagnósticos e parâmetros do soprador, além de estar programada a lógica de proteção, acionamento e operação da máquina, sendo que essa não é disponível ao cliente, ou seja, trata-se de sistema embarcado.
- Relé de proteção: o acionamento do motor elétrico é realizado por um relé inteligente Multilin 369 da GE. Segundo a (GENERAL ELECTRIC, 2010) esse é um relé de múltiplas proteções, entre as principais utilizadas estão:
    - 51 – Sobrecarga, modelo térmico.
    - 50 – Curto circuito.
    - 37 – Sub corrente.
    - 46 – Desbalanceamento de carga.

- 50G/51G 50N/51N – Fuga a terra.
- 38/49 – Proteção RTD e RRTD.
- 27 – Sub tensão.
- 59 – Sobre tensão.
- 47 – Reversão de fase.
- 55 – Fator de potência.
- 37 – Sub potência.

Embora o mesmo seja capaz de se comunicar em rede profibus DP, essa funcionalidade não é utilizada pelo sistema de controle embarcado do soprador.

Para operação do soprador via sala de controle é utilizada uma interface via rede de campo profibus DP que possui módulos de entrada e saída discretos em campo, assim, o comando para ligar efetuado pelo operador da sala de controle da usina chega até o painel local do equipamento por essa interface, e o retorno de funcionando chega até a sala de controle da mesma forma. Devido às restrições impostas pelo sistema de controle embarcado do equipamento, apenas essa interface é possível, o que torna muito difícil constatar falhas e ter diagnósticos precisos da máquina por ser a IHM uma interface limitada.

2.3 Controle Anti-surto

Surto é definido como uma auto-oscilação da pressão de descarga e da vazão, incluindo uma reversão da vazão. O controle anti-surto de compressores centrífugos consiste em modular a válvula de recirculação e/ou de escape para prevenir a ocorrência de reversão do fluxo quando tais compressores estiverem operando abaixo de uma determinada vazão e acima de um determinado nível de compressão. Cada compressor tem uma combinação característica de máximo trabalho e mínima vazão (GASTON, 1992).

O fenômeno do surto está relacionado com o fluxo de ar que passa no interior do compressor. De acordo com (CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006), tal fluxo se expressa no consumo de potência do equipamento, de modo que:

- Se o consumo de potência estiver instável, a vazão de ar que passa pelo equipamento deve ser aumentada. Essa situação é caracterizada pela redução da corrente do motor.

- Se o consumo de potência é excessivo, a vazão de ar que passa pelo equipamento deve ser reduzida. Essa situação é caracterizada pelo aumento da corrente do motor.

Tanto o aumento quanto a redução de vazão no interior do soprador é feito por meio da válvula de escape cuja abertura é controlável. Para aumentar a vazão interna do soprador, abre-se a válvula de escape de modo que uma saída extra é habilitada, traduzindo-se em maior demanda para o soprador. Para diminuir a vazão interna do soprador, fecha-se a válvula de escape, limitando-se a demanda de ar do equipamento.

Segundo (VENTZAS; PETROPOULOS, 2007), uma das maneiras de se proteger o equipamento de entrar em surto é por meio de um controlador PID combinado com uma possível ação de abertura rápida da válvula de escape caso a tendência ao surto se agrave, ou seja, a corrente do motor comece a diminuir muito rapidamente.

O controlador PID acumula as características específicas de cada uma das ações de controle, sendo elas a proporcional, a integral e a derivativa. O controle proporcional aumenta a resposta transitória e diminui o erro em regime permanente, porém causa instabilidade para ganhos muito altos e não consegue zerar o erro. O controle integral elimina o erro em regime permanente, porém reduz a estabilidade por inserir um polo e torna a resposta ao regime transitório mais lenta. Já o controle derivativo atua na variação do erro, quanto maior a variação do mesmo, mais rápida a resposta, com essa característica é possível diminuir o sobressinal, porém esse controlador é altamente suscetível ao ruído da planta. Ainda é possível eliminar qualquer uma dessas ações do controle simplesmente anulando o ganho do controlador equivalente (OGATA, 2003). Na indústria é muito comum o uso de controladores com ações proporcional e integral, ou seja, um controlador PI, principalmente devido à característica de alto ruído existente nas plantas.

3 SISTEMA DE CONTROLE DELTAV

Produzido pela Emerson Process Management, o DeltaV é um sistema de controle distribuído baseado em uma arquitetura integrada, onde os dispositivos de chão de fábrica, o sistema de controle e supervisão estão em uma única base de dados.

O sistema é composto por um barramento de comunicação Ethernet que interliga uma ou mais *Workstations* aos controladores onde está instalado pelo menos um subsistema de entradas e saídas, esses podem ser cartões de redes de campo com profibus, devicenet, fieldbus foundation entre outras. Por fim uma licença de sistema, sendo esta, uma chave de hardware que confere uma identificação única ao sistema, estando instalada no servidor *Professional Plus*, o responsável por armazenar a base dados do sistema. Todos estes componentes podem ser redundantes (rede, fontes de alimentação, controladores e cartões de entrada e saída), (PALMEIRÃO, 2009). Na figura 3.1, um diagrama de um sistema DeltaV, apresentando algumas *workstations*, o servidor Professional Plus e os controladores com seus respectivos cartões de entrada e saída onde estão interligados os barramentos de redes de campo e consequentemente aos instrumentos da planta.
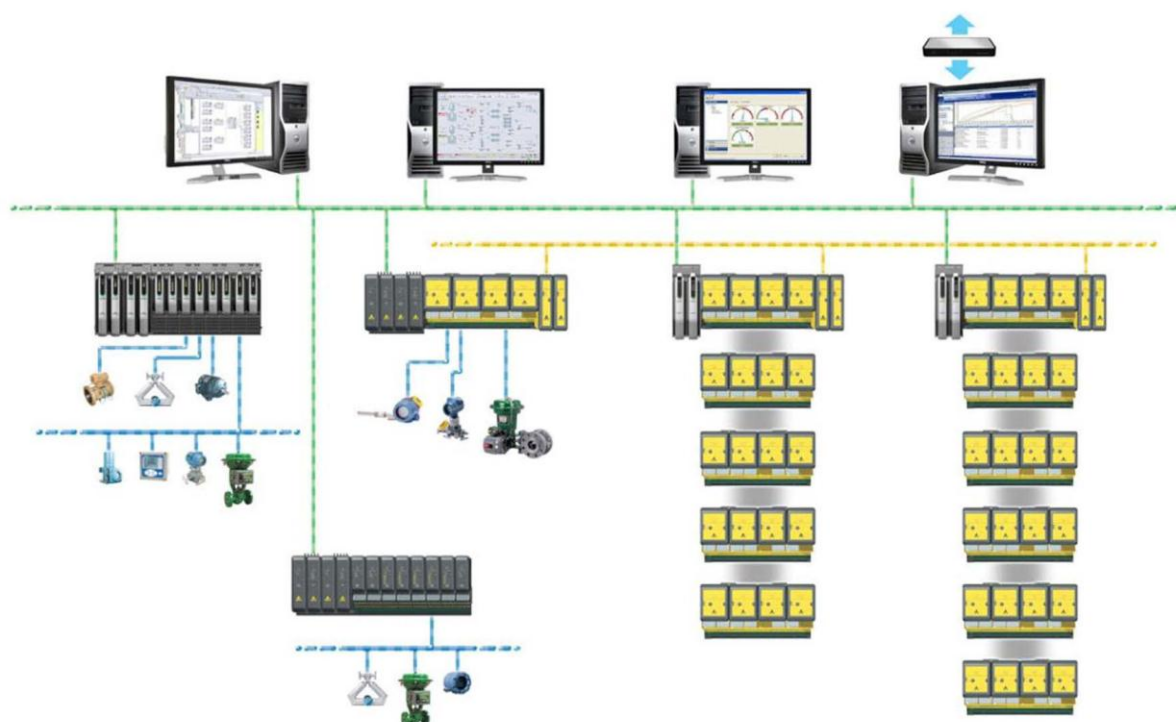
FIGURA 3.1 – Arquitetura de um sistema DeltaV.
Fonte: BATISTA, 2011.

Um sistema DeltaV permite utilizar dois barramentos de comunicação distintos, o chamado barramento de controle e o barramento remoto. O barramento de controle é responsável por interligar todos os controladores e estações de trabalho, sendo este composto por uma rede Ethernet isolada com possibilidade de redundância e para uso exclusivo do sistema, conforme ilustrado na figura 3.2.
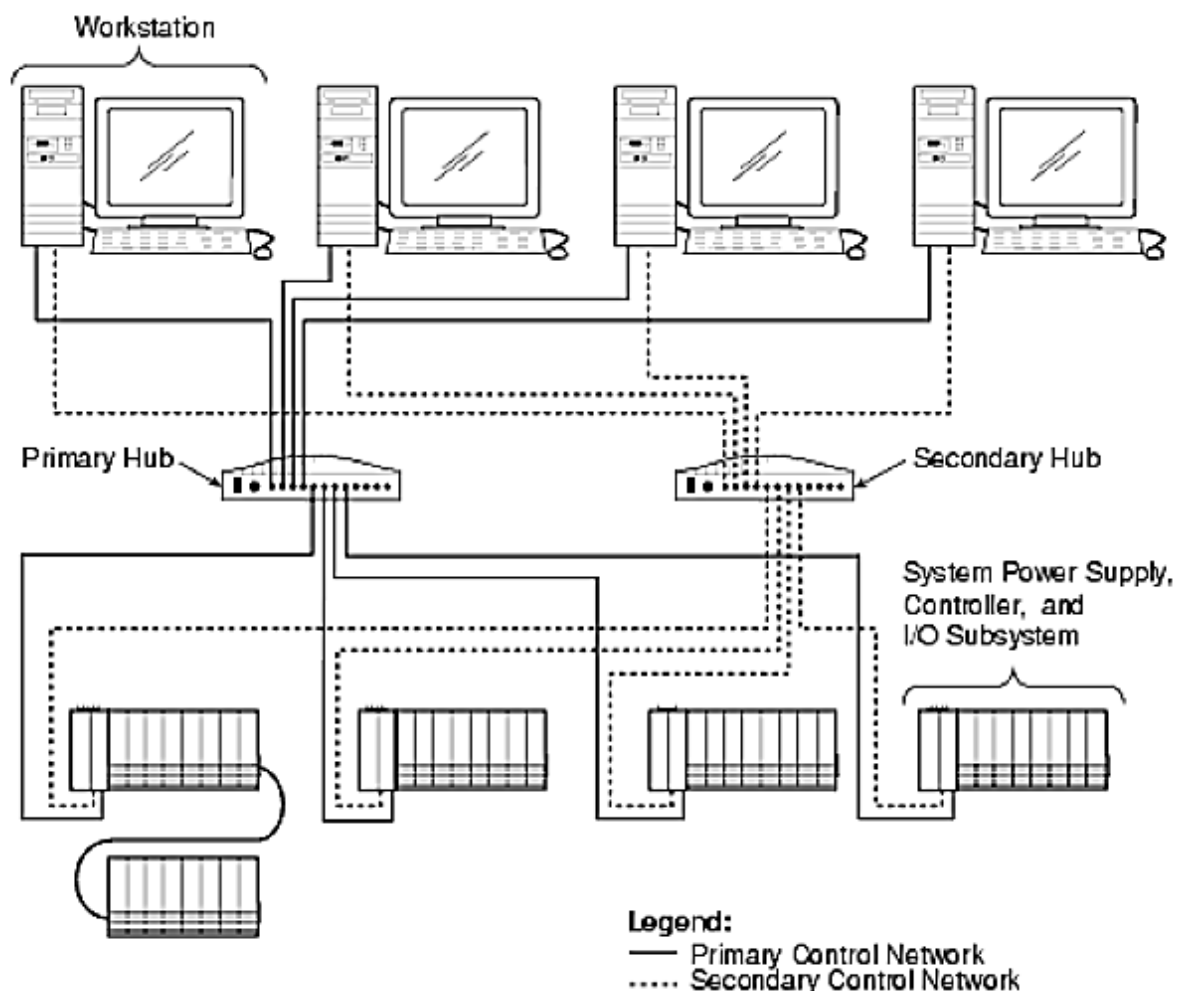
FIGURA 3.2 – Barramento de controle de um sistema DeltaV.
Fonte: EMERSON PROCESS MANAGEMENT, 2006.

Quanto ao barramento remoto, este é utilizado para fazer a interface entre o DeltaV e a rede coorporativa da empresa, consistindo igualmente num barramento Ethernet ligado a uma estação Professional PLUS ou Application ou a ambas. Neste barramento podem ainda ser ligadas estações remotas cujas funcionalidades dependem da forma como a ligação entre o barramento remoto e o sistema é feita (Professional PLUS ou Application). Na figura 3.3 está ilustrado um sistema DeltaV com barramento remoto.
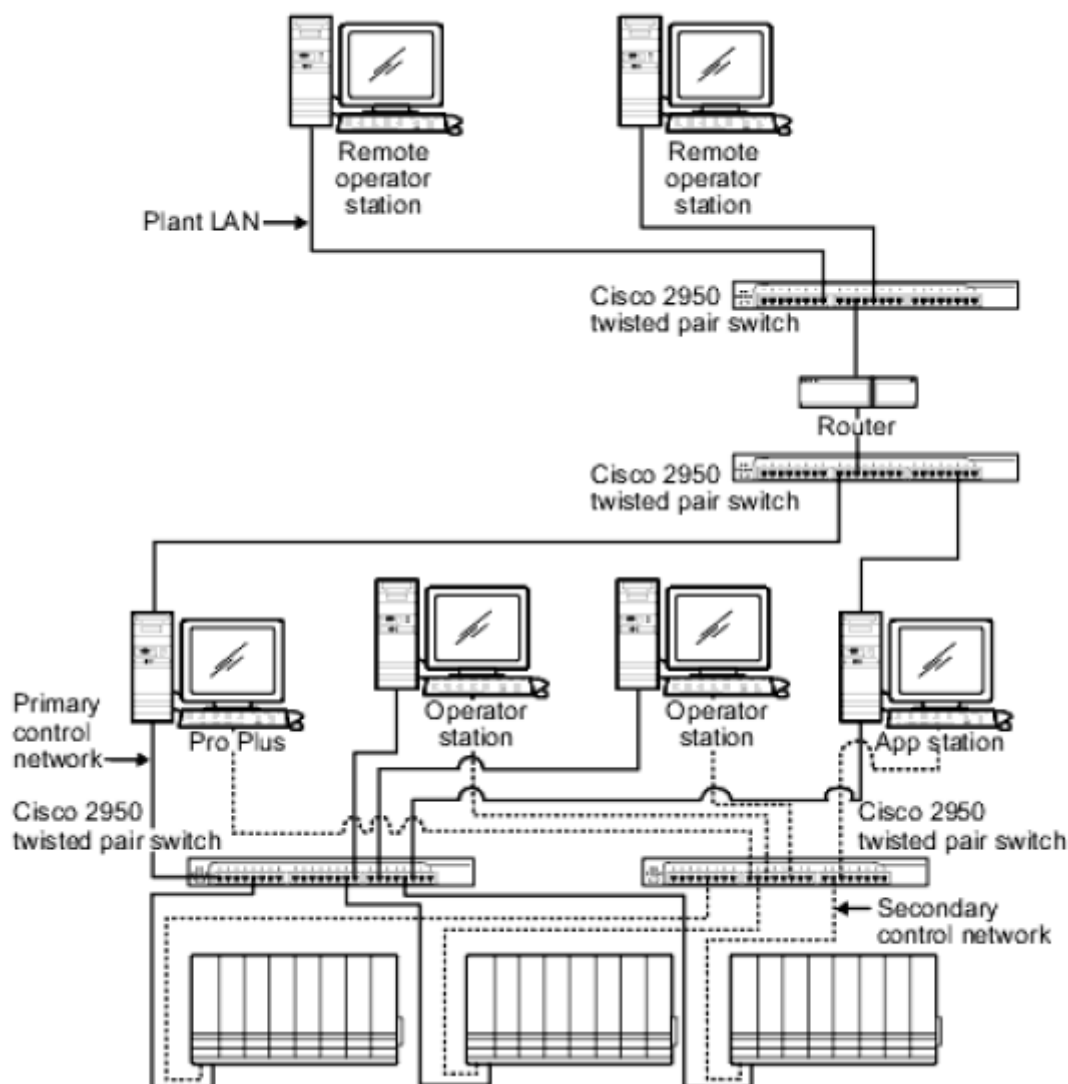
FIGURA 3.3 – Barramento remoto de um sistema DeltaV.
Fonte: EMERSON PROCESS MANAGEMENT, 2006.

3.1 Workstations

As *Workstations* podem ser classificadas em três tipos, sendo elas: *Professional PLUS*, *Operator* e *Application*. Além dessa classificação, ainda é possível em cada tipo de estação ter pacotes de software distintos mediante a licença instalada.

Para a estação *Professional PLUS* existe apenas um pacote de licença que inclui todos os softwares e suas funcionalidades, podendo haver apenas uma estação destas por barramento de controle, sendo ela o nó principal, onde está armazenada a base de dados global e instalada a *hardware key* com a licença do sistema.

Já para as estações *Operator* existem possibilidades distintas de licenças, sendo elas: *Base, Maintenance, Professional* e *Operator*.

- *Base:* inclui apenas o software básico de suporte sendo as demais aplicações adicionadas posteriormente de acordo com a necessidade.
- *Maintenance*: são instalados softwares de manutenção que permitem fazer diagnósticos (DeltaV Diagnostics) do sistema assim como calibrar os equipamentos de campo (AMS).
- *Professional:* são estações de engenharia para desenvolvimento de sistemas, é instalado todo o software de configuração tal como numa *Professional PLUS* à exceção da base de dados global.
- *Operator*: são as estações de operação da planta, é instalado o software de supervisão (DeltaV Operate) e visualização de históricos (Process History View) não sendo possível efetuar configurações.

Quanto às estações *Application* está disponível apenas a licença *Application* cuja instalação proporciona ao DeltaV funcionalidades de interoperabilidade com outras aplicações bem como de interface com outros barramentos de comunicações, como por exemplo a rede coorporativa da empresa.

O número de *Workstations* por sistema é limitado a no máximo 60, dessas apenas uma é a *Professional PLUS*. Entre as demais, o número de licenças Application e Professional estão limitados a dez para cada grupo, num máximo de 120 (incluindo controladores). As estações de trabalho são da fabricante DELL, podendo ser micro computadores ou servidores, de acordo com a aplicação, os sistemas operacionais são Windows Server 2003/2008 (Professional Plus e Application), Windows XP ou Seven (Operator)..

3.2 Controladores

As estratégias de controle e a interface com os dispositivos de campo estão a cargo dos controladores e do subsistema de entradas e saídas respectivamente. No DeltaV podem existir até 100 controladores simples ou em redundância, estando associados a cada um dos controladores um subsistema de entradas e saídas composto por até 64 cartões, resultando no máximo em 750 entradas e saídas, sendo o tempo de processamento mínimo para cada módulo de um controlador DeltaV de 100ms. Associadas a cada controlador estão as fontes

de alimentação que providenciam energia ao sistema e por vezes a alguns equipamentos de campo, podendo também estas ser utilizadas em redundância se necessário.

3.3 Estratégias de Controle

As estratégias de controle num sistema DeltaV são configuradas em módulos, chamados de *Control Module*, sendo estes as unidades de controle básicas do sistema onde estão contidos algoritmos, alarmes, displays, informação de histórico entre outras características que os constituem. Os algoritmos são os passos lógicos que determinam o comportamento de um módulo. Estes algoritmos são definidos utilizando linguagens de programação como FDB (*Function Block Diagram)* ou SFC (*Sequential Function Chart)* especificadas na norma IEC61131-3 - *Progammable Controllers-Programming Languages*.

O DeltaV possui uma biblioteca de blocos para implementar funções de controle analógico, lógica digital, entradas e saídas entre outras funções básicas. Cada bloco possui um conjunto de parâmetros associados possíveis de ser alterados para construção do algoritmo, podendo este resultar em simples conversões de entradas ou estratégias de controle mais complexas, cuja implementação requer geralmente uma combinação de vários blocos. Na figura 3.4, está representada a estratégia de um controlador PID, esse é um bloco de função do sistema que é parametrizado de acordo com a aplicação utilizando a ferramenta de edição de módulos de controle, o *Control Studio*. O anexo A contem todos os blocos lógicos do sistema DeltaV, assim como suas respectivas descrições.
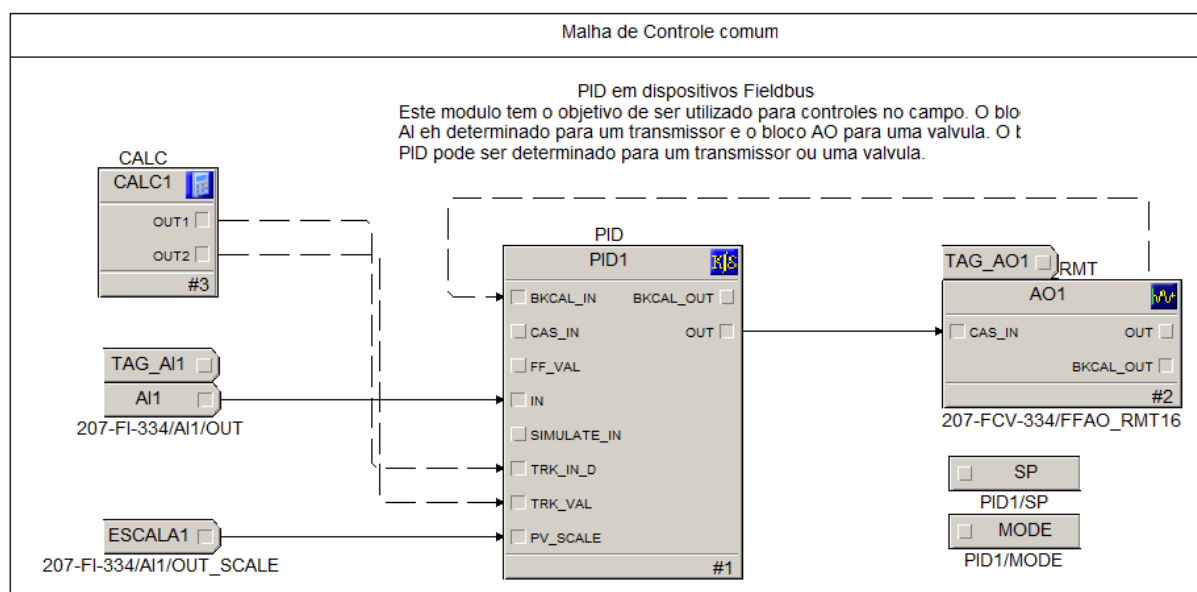
FIGURA 3.4 – Estratégia de controle PID na ferramenta Control Studio.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2011.

3.4 Estrutura do sistema DeltaV

O sistema está organizado de forma hierárquica, figura 3.5, sendo a instalação dividida em áreas compostas por módulos de controle que por sua vez são construídos por algoritmos cuja configuração depende de parâmetros. É ainda possível agrupar os módulos em *area*, *process cells*, *unit* e *equipamento module*. Esta metodologia é útil para agrupar todos os módulos associados ao controle de um processo ou equipamento específico, permitindo assim definir alarmes para esses grupos de módulos.

FIGURA 3.5 – Estrutura hierárquica do sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2011.

O DeltaV é totalmente baseado em orientação a objetos, existem bibliotecas de módulos pré-construídos para implementar funções de controle padrão. Estes típicos de módulo podem ser alterados de forma a satisfazer as necessidades do usuário, sendo também possível a criação de novos módulos a partir do zero e adicioná-los à biblioteca para posterior utilização nas estratégias de controle.

O sistema permite ainda definir classes de módulos de controle, chamadas de *composites*. A grande diferença entre a instância de uma classe e de um típico de módulo é o fato de que se a classe for alterada todas as suas instâncias são também alteradas, ao passo que se um típico de módulo for alterado todos os módulos gerados a partir deste não sofrem qualquer alteração, sendo também estes passíveis de alterações por parte do usuário sem que isso influencie no típico do módulo.

3.5 Ferramentas de software

Ao nível de software, o DeltaV é composto por um pacote de aplicações que ajudam o usuário na instalação, operação e otimização dos processos, estando estas divididas em dois grupos: ferramentas de engenharia e ferramentas de operação. As ferramentas de engenharia englobam um conjunto de aplicações que permitem configurar as estratégias de controle, gerir utilizadores, administrar a base de dados, entre outras possibilidades. Quanto às

ferramentas de operação, estas são utilizadas para monitorizar os processos, avaliar o seu desempenho e resposta perante determinadas condições, e analisar o estado do sistema e alguns equipamentos de campo. Existem ainda outras ferramentas num sistema DeltaV, destas fazem parte as ferramentas de controle avançado bem como servidores de OPC (*OLE for Process Control*), ferramentas de gestão de modificações, inspeção e sintonia de malhas de controle. No anexo B estão as principais ferramentas de software que compõem o sistema DeltaV juntamente com sua funções.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Concluído o trabalho de levantamento das informações sobre os sopradores, inicia-se o desenvolvimento do projeto da solução, assim como sua implementação. Para isso seguem-se passos que compõem um esquema para a automação de equipamentos utilizando um sistema DeltaV. Entre as etapas estão desde a criação de uma lista de entradas e saídas baseada no diagrama de instrumentação do sistema, a definição da estratégia de controle, até os testes da lógica e a implantação das modificações em campo para startup do equipamento. O diagrama de instrumentação do sistema de geração de ar para os tanques de flotação, *tank cells*, é apresentado na figura 4.1.
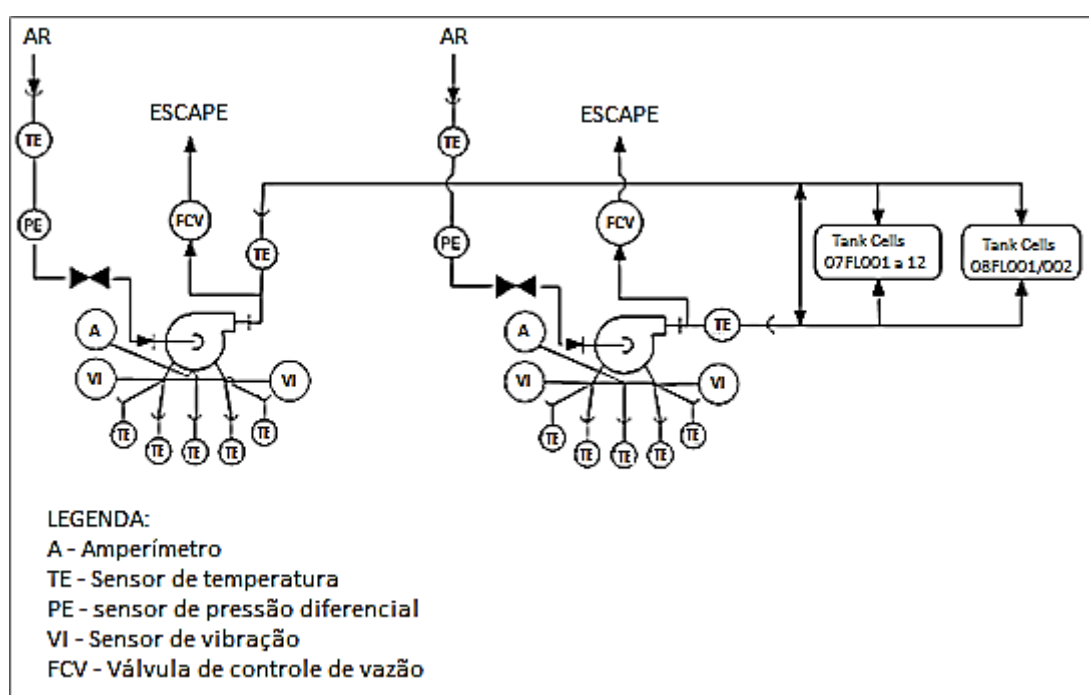
FIGURA 4.1 – Diagrama de instrumentação do sistema de geração de ar para *Tank Cells*.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Os sopradores são instalados em paralelo, funcionando apenas um soprador enquanto outro está em *standby*, esses fornecem ar para 12 tanques de flotação na área 07 (primeira etapa de flotação) e para outros dois na área 08 (segunda etapa de flotação). Ainda no diagrama é possível observar a disposição dos instrumentos que compõem o sistema e que são a base para criação da relação de entradas e saídas do projeto.

4.1 Relação de entradas e saídas

A relação de IO, ou relação de entradas e saídas, é a lista de todas as entradas e saídas de campo do sistema, correspondendo às variáveis analógicas e discretas utilizadas como

sensores ou atuadores. Em um projeto de automação, essa relação é extremamente importante para quantificar o trabalho a ser realizado. É importante na definição dos módulos de IO, instalação de painéis, lançamento de eletrodutos e cabos e consequentemente na mão de obra de montagem a ser utilizada. Com base na relação de IO do sistema, tabela 4.1, foi projetado o painel de instrumentação necessário para suprir a demanda dos instrumentos instalados.

TABELA 4.1 – Relação de entrada e saída do soprador 07-VE002.

ITEM	TAG	DESCRIÇÃO	TIPO
1	207-TI-347_1	Temperatura do ar na entrada do soprador	AI
2	207-TI-347_2	Temperatura do ar na saída do soprador	AI
3	207-TI-347_3	Temperatura do mancal do motor lado ventilador	AI
4	207-TI-347_4	Temperatura do mancal do motor lado soprador	AI
5	207-II-347	Corrente do motor do soprador	AI
6	207-VI-347_1	Vibração na entrada do soprador	AI
7	207-VI-347_2	Vibração na saída do soprador	AI
8	207-TI-347_5	Temperatura no enrolamento 1 do motor	AI
9	207-TI-347_6	Temperatura no enrolamento 2 do motor	AI
10	207-TI-347_7	Temperatura no enrolamento 3 do motor	AI
11	207-ZSL-347_2	Posição válvula de admissão fechada.	DI
12	207-EMG-347	Botão de desligamento de emergência	DI
13	207-BDL-347	Botão desliga local	DI
14	207-VM-347	Liga ventilador do motor	DO
15	207-PDSH-347	Sensor de filtro de ar sujo	DI
16	207-ZSH-347_2	Posição válvula de admissão aberta.	DI
17	207-BLL-347	Botão liga local	DI
18	207-FCV-347_2	Abre e fecha válvula de admissão	DO
19	207-FCV-347_1	Comando válvula de escape	AO

Fonte: CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006.

Por padrão, o IO instalado na usina 2 utiliza remotas de campo que comunicam em rede profibus DP com os controladores DeltaV presentes na planta. Essas remotas, cujos painéis são denominados PNI, utilizam hardware de fabricação da alemã Murr Elektronik, entre eles estão diversos módulos de IO e as próprias remotas que funcionam como escravos na rede profibus DP.

4.2 Lista de variáveis de proteção

As variáveis de proteção do sistema foram listadas para identificação da influência de cada uma delas sobre os equipamentos. De acordo com as informações colhidas nos manuais e na própria interface de operação da máquina, definiram-se duas tabelas nas quais essas variáveis são apresentadas de acordo sua ação de controle. Os alarmes gerados por essas variáveis,

tabela 4.2, são exibidos no sistema de supervisão com intuito de chamar a atenção do operador da planta para que o mesmo tome uma ação para solucionar o problema.

TABELA 4.2 – Alarmes gerados pelas variáveis de campo.

ITEM	DESCRIÇÃO	CONDIÇÃO	SET POINT
1	Temperatura do ar na entrada do soprador	Maior	110° C
2	Temperatura do ar na saída do soprador	Maior	110° C
3	Temperatura do mancal do motor lado ventilador	Maior	110° C
4	Temperatura do mancal do motor lado soprador	Maior	110° C
5	Corrente do motor (Sobrecarga)	Maior	51 A
6	Corrente do motor (Surto)	Menor	27 A
7	Vibração na entrada do soprador	Maior	5 mm/s
8	Vibração na saída do soprador	Maior	5 mm/s
9	Temperatura no enrolamento 1 do motor	Maior	90° C
10	Temperatura no enrolamento 2 do motor	Maior	90° C
11	Temperatura no enrolamento 3 do motor	Maior	90° C

Fonte: CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006.

O alarme é uma ação preventiva, a fim de evitar que uma falha ocorra e o equipamento desarme interrompendo a produção. Ao observar um alarme de “Alta Temperatura no enrolamento R”, por exemplo, o operador aciona a manutenção e faz a inversão do soprador para operar com o equipamento reserva, enquanto isso a manutenção verifica o motivo do alarme e corrige o problema, tudo isso sem a interrupção da produção.

As falhas, tabela 4.3, são ocorrências críticas no funcionamento do equipamento e tem como principal função desliga-lo para evitar que danos mais sérios à sua integridade ocorram. Como exemplo, podemos citar que em determinado instante a vibração de um dos mancais aumente a ponto de atingir o set point de desarme, assim o equipamento irá desligar para que essa vibração não danifique o mancal.

TABELA 4.3 – Falhas geradas pelas variáveis de campo.

ITEM	DESCRIÇÃO	CONDIÇÃO	SETPOINT
12	Temperatura do ar na entrada do soprador	Maior	120° C
13	Temperatura do ar na saída do soprador	Maior	120° C
14	Temperatura do mancal do motor lado ventilador	Maior	120° C
15	Temperatura do mancal do motor lado soprador	Maior	120° C
16	Corrente do motor (Sobrecarga)	Maior	55 A
17	Corrente do motor (Surto)	Menor	23 A
18	Vibração na entrada do soprador	Maior	6 mm/s
19	Vibração na saída do soprador	Maior	6 mm/s
20	Temperatura no enrolamento 1 do motor	Maior	100° C
21	Temperatura no enrolamento 2 do motor	Maior	100° C
22	Temperatura no enrolamento 3 do motor	Maior	100° C

Fonte: CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006.

4.3 Projeto do painel remoto de instrumentação

Foi definido que para cada um dos sopradores seria instalado um painel de instrumentação independente, assim, para efetuar a manutenção em um dos equipamentos, não há interferência no que está em funcionamento. A partir dessa premissa, foi desenhado o projeto do painel de acordo com o padrão utilizado nas plantas da Samarco. Foram definidos dois novos tags para identificação desses painéis, sendo 205_PNI_005 (IO do soprador 07-VE-001) e 205_PNI_011 (IO do soprador 207-VE-002).

O projeto dos painéis foi desenvolvido com base na necessidade de IO levantada na tabela 4.1, assim, definiu-se qualitativa e quantitativamente os módulos a serem utilizados, ficando cada painel da seguinte forma:

- Remota: Cube67, 64 bytes de IO, nó de rede onde são conectados os módulos de IO (MURR ELEKTRONIK, 2010a).
- Módulo 01: DIO 56601, 2 bytes, possui 16 canais discretos configuráveis como entrada ou como saída, expansível à conexão de novos módulos (MURR ELEKTRONIK, 2010b).
- Módulo 02: AO 56720, 8 bytes, possui 4 canais de saída analógica de 4 a 20 mA (MURR ELEKTRONIK, 2010b).
- Módulo 03: AI 56730, 8 bytes, possui 4 canais de entrada analógica de 4 a 20 mA (MURR ELEKTRONIK, 2010b).
- Módulos 04 e 05: AI 56740, 8 bytes, possui 4 canais de entrada analógica RTD, para conexão de sensores de temperatura resistivos (MURR ELEKTRONIK, 2010b).

A disposição dos módulos é muito importante, pois influencia diretamente na configuração do dispositivo de comunicação via rede, assim, o diagrama da figura 4.2 foi essencial para desenvolver essa comunicação.
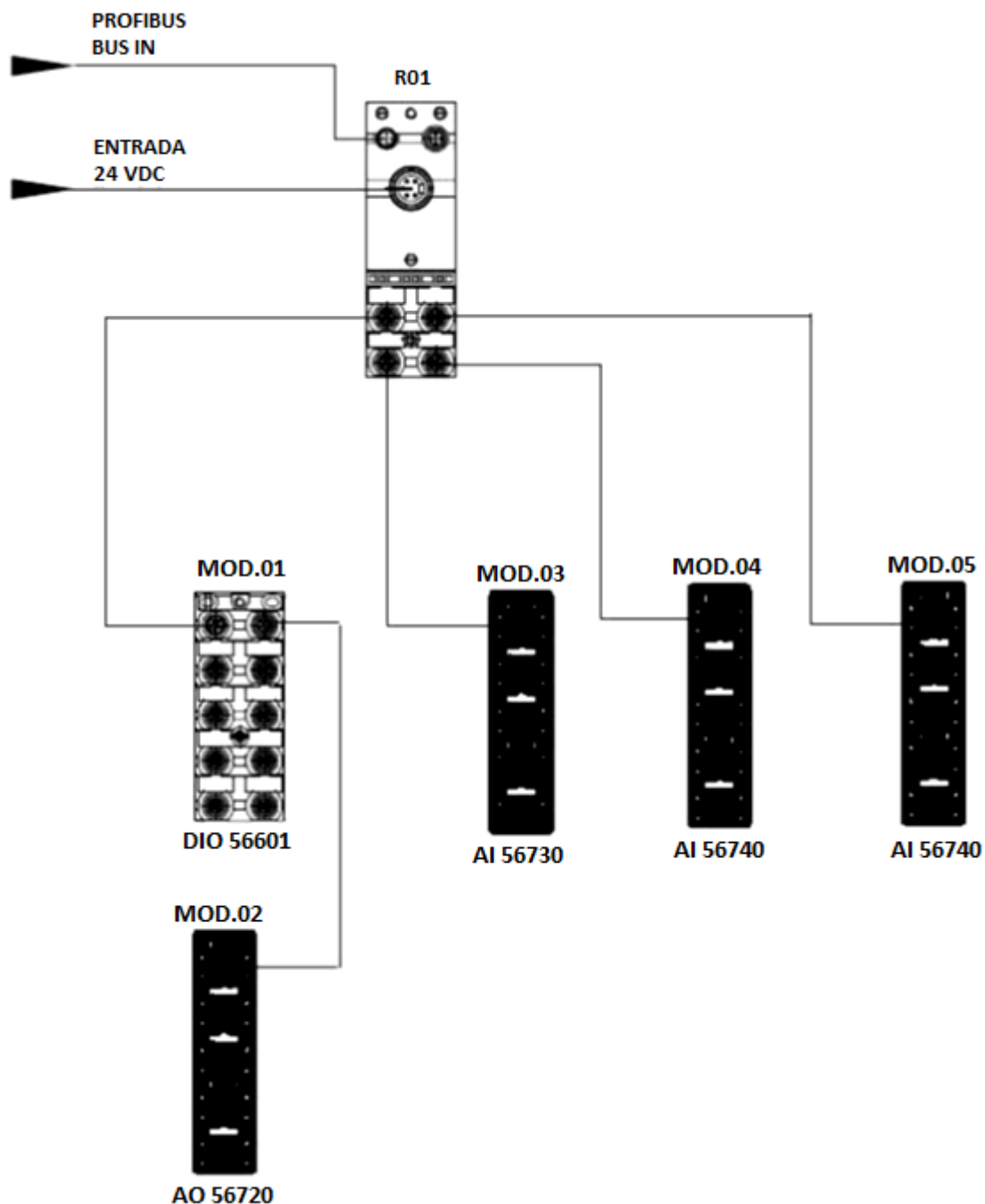
FIGURA 4.2 – Diagrama de interligação dos módulos de IO do painel de instrumentação.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Todos os módulos utilizados possuem diagnósticos de falhas embutidos, são capazes de isolar curtos em canais sem comprometer o funcionamento, além de enviar via rede essas informações de falha ao controlador via o mestre da rede (MURR ELEKTRONIK, 2010b).

4.3.1 Configuração do PNI na rede profibus DP.

Após a definição dos módulos a serem utilizados no painel PNI, é necessário realizar a configuração do nó escravo na rede existente, sendo necessário localizar onde alocar os módulos do dispositivo. A localização do módulo obedece à hierarquia de hardware: CPU/Cartão Profibus mestre/Porta/Módulo/Slots.

O módulo escravo da rede Profibus DP, neste caso o Cube67, deve ser configurado como um nó da rede existente, conforme sua localização na hierarquia CPU: 207_PCU_01, Cartão: C23, porta: P01, Nó 15. O nó 15 foi escolhido por ser o próximo nó na sequência de dispositivos já configurados na rede.

Em uma rede profibus DP cada dispositivo possui um arquivo de configuração, extensão GSD, que determina quais são os parâmetros a serem configurados, como os módulos definidos já são utilizados no sistema da Samarco, o arquivo GSD já se encontrava carregado no sistema DeltaV. Assim, baseado no arquivo GSD do Cube67, esse contém 16 slots onde podem ser alocados os módulos de IO. Na configuração do PNI utilizado, alguns desses slots ficam vazios por não terem módulos correspondentes.

Dessa forma, o cartão de entrada e saída digital, DIO 56601, foi alocado no SLOT000, conforme o digrama de interligação da figura 4.2. Para o correto funcionamento do módulo DIO 56601, deve-se atribuir dois sinais profibus ao mesmo slot, sendo que um representa as entradas digitais e o outro as saídas digitais. Cada sinal profibus contém 16 parâmetros que podem ser configurados como entrada ou saída, definindo a função de cada pino do módulo, conforme apresentado na figura 4.3.
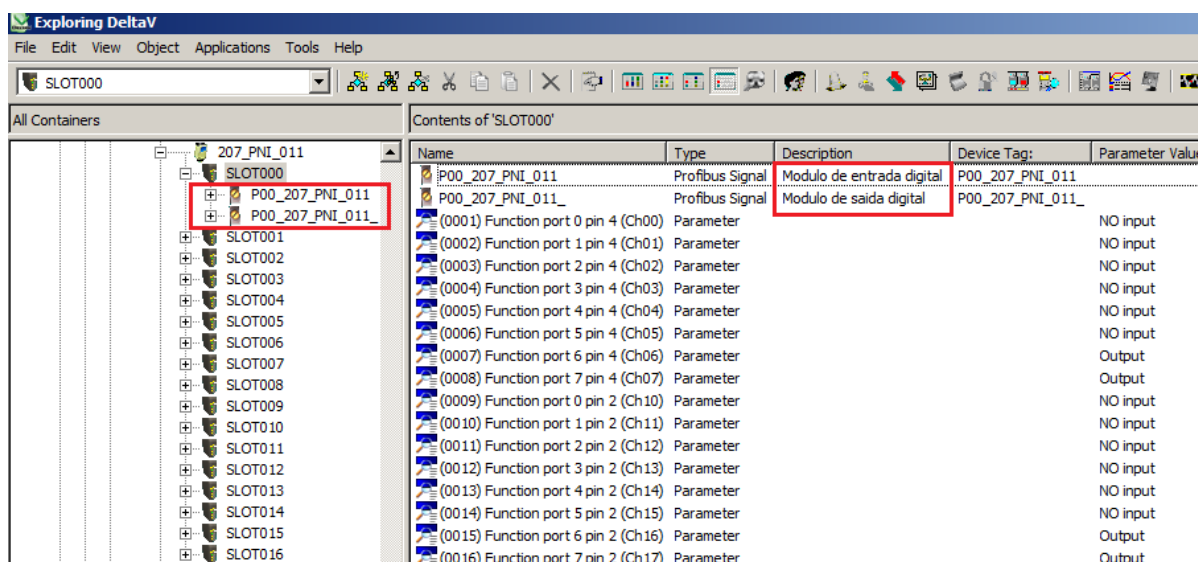
FIGURA 4.3 – Configuração do módulo DIO 56601 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

De acordo com a relação de entrada e saída, tabela 4.1, os canais do módulo DIO 56601 foram configurados conforme a figura 4.3, onde os canais 6 e 7 de cada terminal foram definidos como saídas e os demais como entrada. Na prática, as duas últimas portas do módulo DIO serão saídas e o restante entrada, isso se deve ao fato do sistema necessitar mais de entradas do que de saídas. Essa é uma grande vantagem desse tipo de módulo, sua flexibilidade, tornando possível usar os canais da melhor forma, evitando desperdício de infraestrutura de campo.

Para leitura e escrita dos sinais profibus são criados no DeltaV *control modules*, utilizando os blocos BF, isso de acordo com a configuração de cada pino feita anteriormente. Na figura 4.4, o bloco BFO recebe o sinal de entrada e o decodifica em bits, o inverso ocorre no bloco BFI onde os bits de saída são codificados para serem enviados ao módulo em campo.
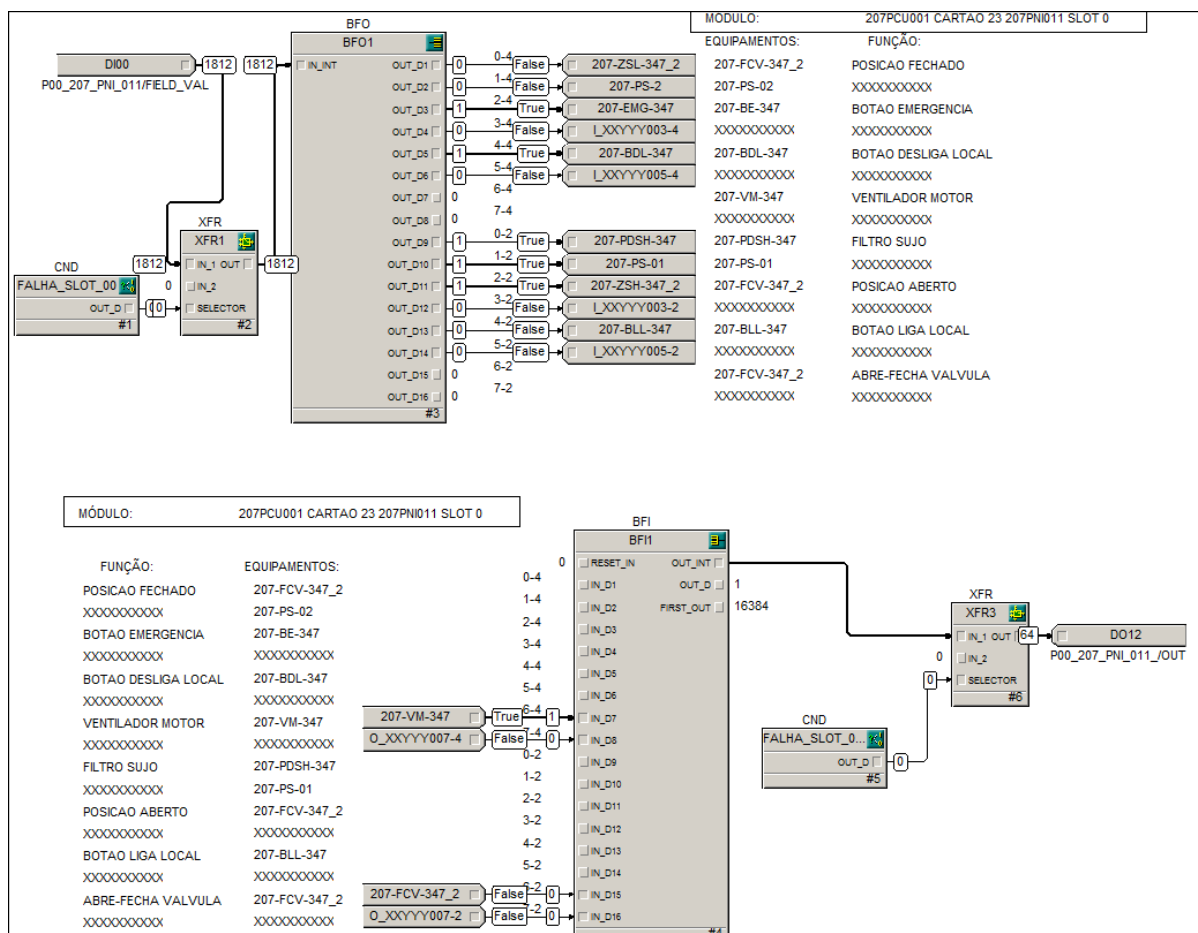
FIGURA 4.4 – Módulo de leitura/escrita do DIO 56601 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Continuando a configuração do PNI de acordo o diagrama de interligação da figura 4.2, no SLOT001 foi configurado o cartão de saída analógica 4 a 20 mA, o módulo AO 56720, conforme indicado na figura 4.5.
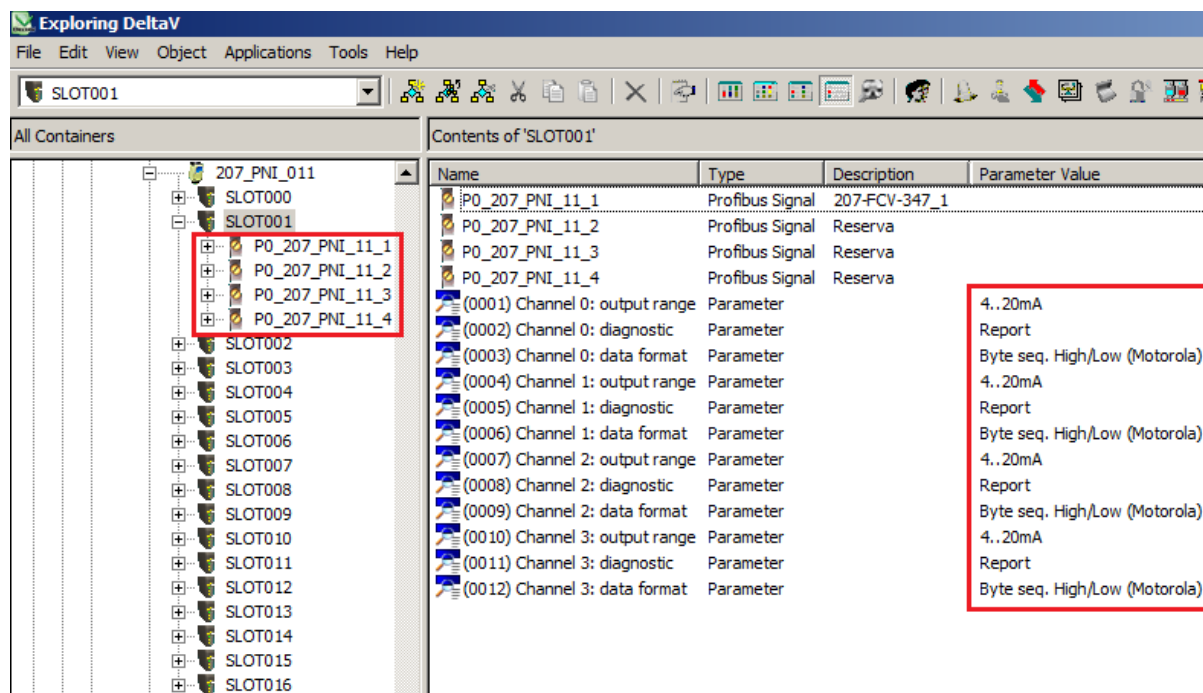
FIGURA 4.5 – Configuração do módulo AO 56720 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Note que, para cada um dos canais de entrada foi configurado um sinal profibus de saída 4 a 20 mA, output, como em destaque na imagem. Nesse módulo apenas uma saída é utilizada, trata-se da válvula proporcional de escape de ar, 207-FCV-347_1, que é o atuador responsável por evitar o fenômeno de surto no soprador liberando o ar para a atmosfera.

Os módulos de entrada analógica RTD, para sensores de temperatura resistivos PT-100 de três fios, AI 56740, foram configurados nos SLOT004 e SLOT012. Nesses módulos foram ligados todos os sensores de temperatura listados na relação de entrada e saída da tabela 4.1. Em destaque na figura 4.6, estão as configurações dos sinais profibus e dos canais para leitura dos sensores PT-100 a três fios em graus Celsius no SLOT004. A mesma configuração foi repetida para o SLOT012.
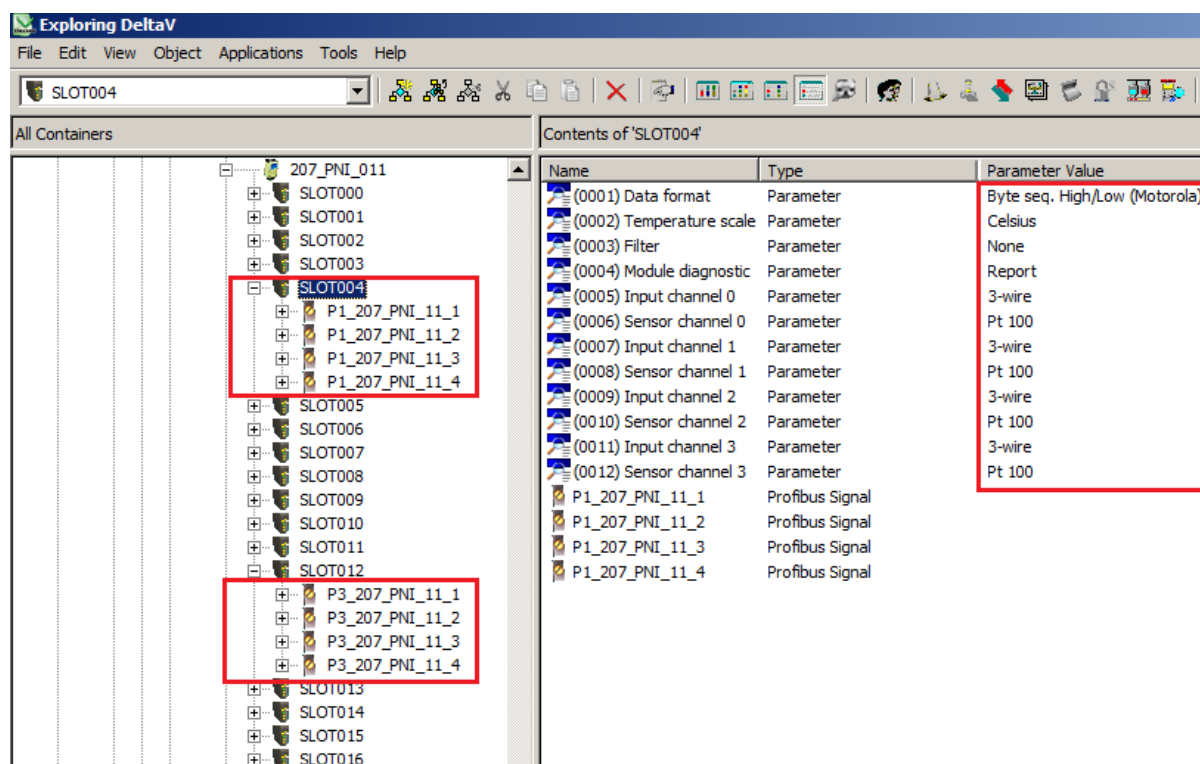
FIGURA 4.6 – Configuração do módulo AI 56740 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

No SLOT008 foi configurado o cartão de entrada analógica de 4 a 20 mA referente aos sensores de vibração, módulo AI 56730. Conforme a figura 4.7, esse módulo também possui quatro canais de entrada e para cada um deles foi configurado um sinal profibus para leitura. Esses canais foram configurados como 4 a 20 mA conforme destaque.
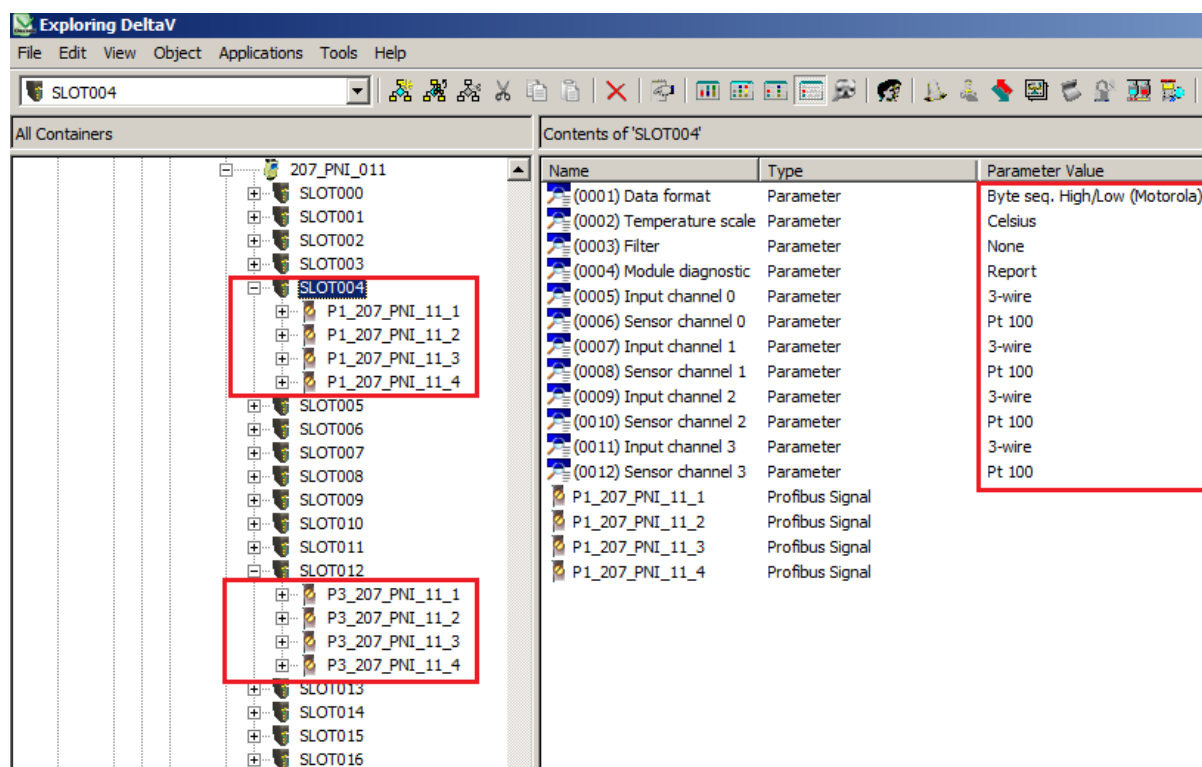
FIGURA 4.7 – Configuração do módulo AI 56740 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Dessa forma toda a configuração foi realizada conforme o diagrama da figura 4.2, sendo a partir dessa possível realizar a leitura dos dados dos sensores instalados em campo e transmitidos via rede profibus DP, assim como enviar sinais para os atuadores. Os sinais foram testados através do teste ponto a ponto, onde cada canal de leitura e escrita foi testado para garantir a integridade das informações.

4.4 Acionamento do motor

O relé de proteção inteligente GE Multilin 369, é um relé de média tensão, operando com tensão nominal de 4160 Volts. É o responsável pelo acionamento e por toda a proteção elétrica do motor do soprador. Através desse relé o sistema de automação tem acesso a diversas informações a respeito do motor, tais como: corrente, tensão, potência, temperatura, estado, códigos de falha entre outras disponíveis e recebidas via rede profibus DP. Também por meio da rede os comandos são enviados ao relé, como por exemplo, para ligar e desligar o equipamento.

Para que o controlador da planta comunique com o relé é necessário que o mesmo seja um escravo em uma das redes profibus DP configuradas no controlador através dos cartões

profibus DP Series 2 Plus instalados no mesmo. Por isso então foi necessário criar os dispositivos profibus responsáveis por permitir essa comunicação.

4.4.1 Configuração do relé GE Multilin 369 na rede profibus DP.

Para que essa comunicação funcione, é necessária a configuração de um dispositivo de rede profibus DP baseada no arquivo GSD do Multilin 369. Nesse dispositivo são criadas as palavras de leitura e escrita que serão trocadas entre o mestre da rele, o cartão profibus DP, e o escravo, o relé.

O Multilin foi instalado em campo em uma rede específica para motores, conhecida como rede de CCM (central de comando de motor). Nessa rede estão configurados diversos outros equipamentos e os relés entraram como novos nós, sendo eles, 47 e 48, para os sopradores 07-VE-001 e 07-VE-002 respectivamente. Os dispositivos foram adicionados à CPU: 207_PCU_01_2, Cartão: C01, Porta: P01, e receberam os nomes G02-07VE001 e G02-07VE002. Na figura 4.8, em destaque temos a configuração do dispositivo G02-07VE002 referente ao soprador 07-VE-002.
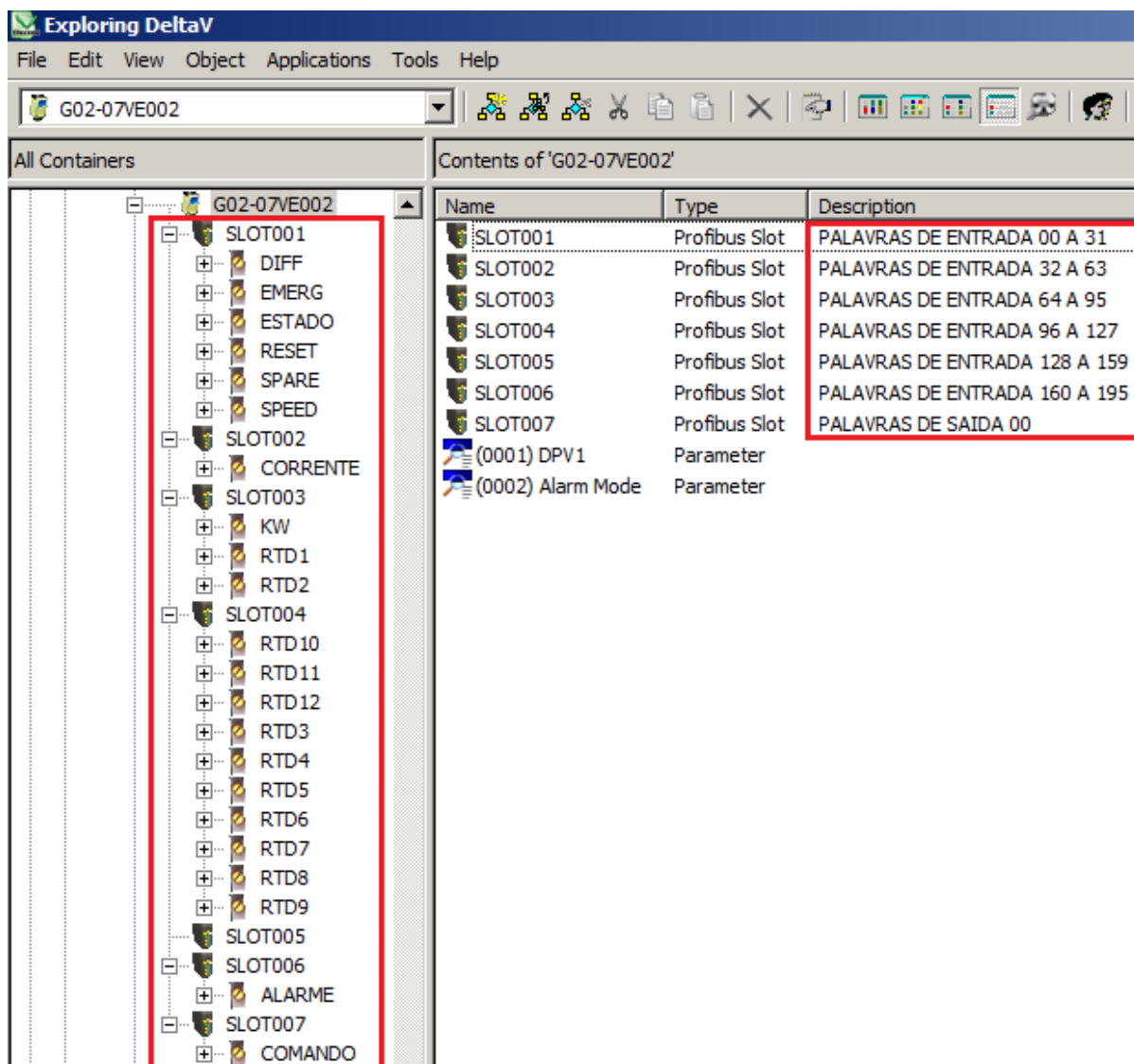
FIGURA 4.8 – Configuração do dispositivo de rede do Multilin 369 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Essa configuração foi realizada baseada em outros dispositivos já existentes na planta, ou seja, outros equipamentos que também utilizam o relé Multilin 369 como forma de acionamento. Essa opção de configuração foi escolhida por já existir um padrão, dessa forma todos os equipamentos que utilizam o mesmo tipo de relé possuem a mesma configuração de rede, o que facilita a criação de novos dispositivos e mantem os equipamentos da planta dentro de um mesmo padrão de configuração.

4.5 Configuração dos módulos de controle no sistema DeltaV

Tanto para as analógicas como para os equipamentos, foi necessária a criação de módulos de controle, esses módulos são como sub-rotinas onde são processadas as informações nos controladores do DeltaV. Nos módulos são lidas as informações disponíveis nos parâmetros

configurados nos dispositivos de rede e também escritas informações nos parâmetros de saída.

Em resumo os módulos são as estruturas responsáveis por receber as entradas de dados vindos dos dispositivos de campo, processar as informações de acordo com o programa configurado no módulo e atribuir o resultado do processamento às variáveis de saída. Uma observação importante é que não necessariamente as informações de entrada e saídas dos módulos devem ser os dispositivos de campo, podendo os mesmos receber e enviar dados entre si, ou com demais componentes do sistema como a interface de supervisão, nesse caso o DeltaV Operate Run.

4.5.1 Módulos de variáveis analógicas

Para cada analógica do sistema; configurada no PNI, no relé Multilin, ou virtual; foi criado um módulo de controle no sistema DeltaV na estrutura Control Strategies no caminho: 207PCU001_AREA07/207PCU001_ANA_07.

A analógica de corrente considerada é aquela recebida do relé Multilin, essa variável é extremamente importante, já que a mesma é utilizada na estratégia de controle anti-surto abordada no tópico 2.3 do capítulo 2. Para essa analógica foi criado o módulo 07-II-347, que referencia como entrada a palavra de leitura referente à corrente do motor vinda do dispositivo de rede do mesmo.

Também foi criado um módulo virtual, ou seja, sem referência direta a uma entrada física do PNI ou do relé, essa analógica representa a estimativa de vazão de ar na saída do soprador, a analógica 207-FI-347. Como não existe um medidor de vazão na linha de saída, realiza-se a soma das analógicas de vazão de todas as linhas que derivam da linha principal do soprador, já na chegada de cada tanque existe um medidor de vazão. Essa estimativa é muito útil operacionalmente, pois, está diretamente relacionada com a potência do motor e com o fenômeno do surto. Entretanto, não é usada pela lógica de controle anti-surto, pois a corrente do motor representa com maior fidelidade esse fenômeno.

Para todas as analógicas foi configurada a opção de histórico para possibilitar a visualização no gráfico de tendências do sistema, possibilitando o acompanhamento das informações e ajudando na detecção de falhas. O acompanhamento das analógicas de vibração dos mancais, por exemplo, podem indicar que um rolamento está em fim de vida útil e que necessita ser trocado, facilitando o planejamento da manutenção.

Importante observar que, os valores das analógicas recebidos pelos módulos de IO vem via rede profibus em valor bruto, ou seja, sem unidade de engenharia, representando a informação de 4 a 20 mA em um valor em decimal referente ao número de bits do sinal. Portanto para a configuração desses módulos é necessário verificar nos manuais dos módulos de IO a conversão para cada um deles, na tabela 4.4 estão as respectivas conversões. Com esses dados de conversão, utilizamos os parâmetros SCALE e XDSCALE do bloco AI de analógicas. O parâmetro SCALE corresponde à faixa em unidade de engenharia e o parâmetro XDSCALE corresponde à faixa em valor bruto, ou seja, do valor fornecido diretamente pelo cartão de analógica. Na tabela C.1 do anexo C estão todos os parâmetros usados na configuração do bloco *analog input* (AI) no sistema DeltaV.

TABELA 4.4 – Relação de conversão de valor bruto para UE das analógicas.

ITEM	TAG	DESCRIÇÃO	BRUTO	UE
1	207-TI-347_1	Temperatura do ar na entrada do soprador	-2000 a 8500	-200 a 850 C
2	207-TI-347_2	Temperatura do ar na saída do soprador	-2000 a 8500	-200 a 850 C
3	207-TI-347_3	Temperatura do mancal do motor lado ventilador	-2000 a 8500	-200 a 850 C
4	207-TI-347_4	Temperatura do mancal do motor lado soprador	-2000 a 8500	-200 a 850 C
5	207-II-347	Corrente do motor do soprador	0 a 100 A	0 a 100A
6	207-VI-347_1	Vibração na entrada do soprador	0 a 32767	0 10 mm/s
7	207-VI-347_2	Vibração na saída do soprador	0 a 32767	0 10 mm/s
8	207-TI-347_5	Temperatura no enrolamento 1 do motor	-2000 a 8500	-200 a 850 C
9	207-TI-347_6	Temperatura no enrolamento 2 do motor	-2000 a 8500	-200 a 850 C
10	207-TI-347_7	Temperatura no enrolamento 3 do motor	-2000 a 8500	-200 a 850 C
11	207-FCV-347_2	Comando válvula de escape	0 a 4096	0 a 100 %

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2011.

Outro ponto importante a ser frisado, é que como as analógicas dos sopradores são em sua maioria utilizadas para a proteção dos mesmos, conforme indicam as tabelas 4.2 e 4.3 do tópico 4.2, é importante que os valores de alarmes e falhas não sejam alterados acidentalmente. Por isso, tais valores são assegurados via lógica por meio de constantes atribuídas diretamente aos parâmetros de entrada configurados dentro dos módulos das

analógicas, escrevendo no bloco AI, conforme figura 4.9. Com isso evitamos, por exemplo, que os valores de set point de alarme e desarme sejam acidentalmente modificados na janela de interface das analógicas no sistema de supervisão, comprometendo a segurança do equipamento.
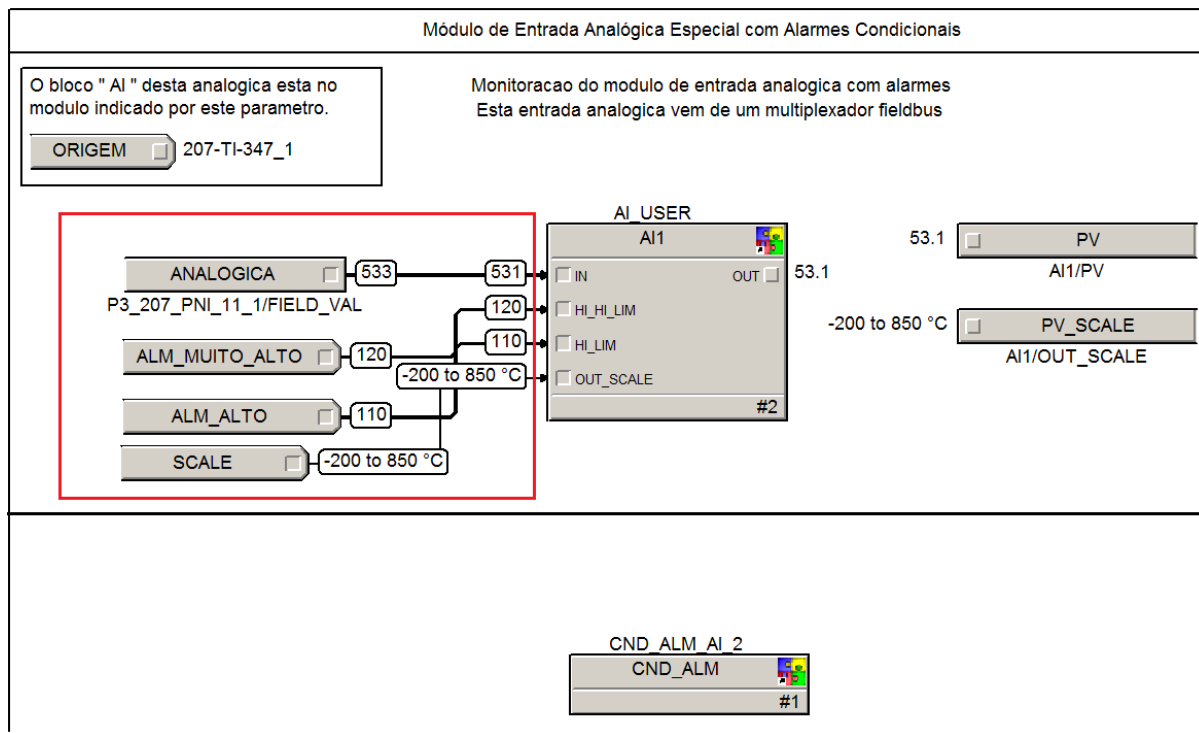
FIGURA 4.9 – Detalhe nos módulos de analógicas no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Em destaque estão os parâmetros de conversão de valor bruto para EU, assim como os parâmetros de entrada com os set points de alarme e desarme, garantindo a integridade dos mesmos.

4.5.2 Módulo de equipamentos

No módulo de controle do equipamento soprador, mantiveram-se os padrões utilizados para o seu típico de equipamento (FL_TIPO1G), ou seja, grupo de equipamentos com características semelhantes. O bloco de leitura e escrita do relé Multilin (Composite MULTILIN_369), por exemplo, é exatamente o mesmo utilizado em outros equipamentos, facilitando a configuração de novos dispositivos e garantindo um padrão entre os módulos do sistema.

O Composite é um recurso do DeltaV onde um conjunto de instruções, blocos e parâmetros pode ser encapsulado e criado um bloco customizado, com um conceito muito semelhante ao de orientação a objetos, já que esse *composite* criado pode ser usado em qualquer

equipamento como um objeto. A figura 4.10 representa o *composite* de escrita e leitura de dados no relé MULTILIN_369.
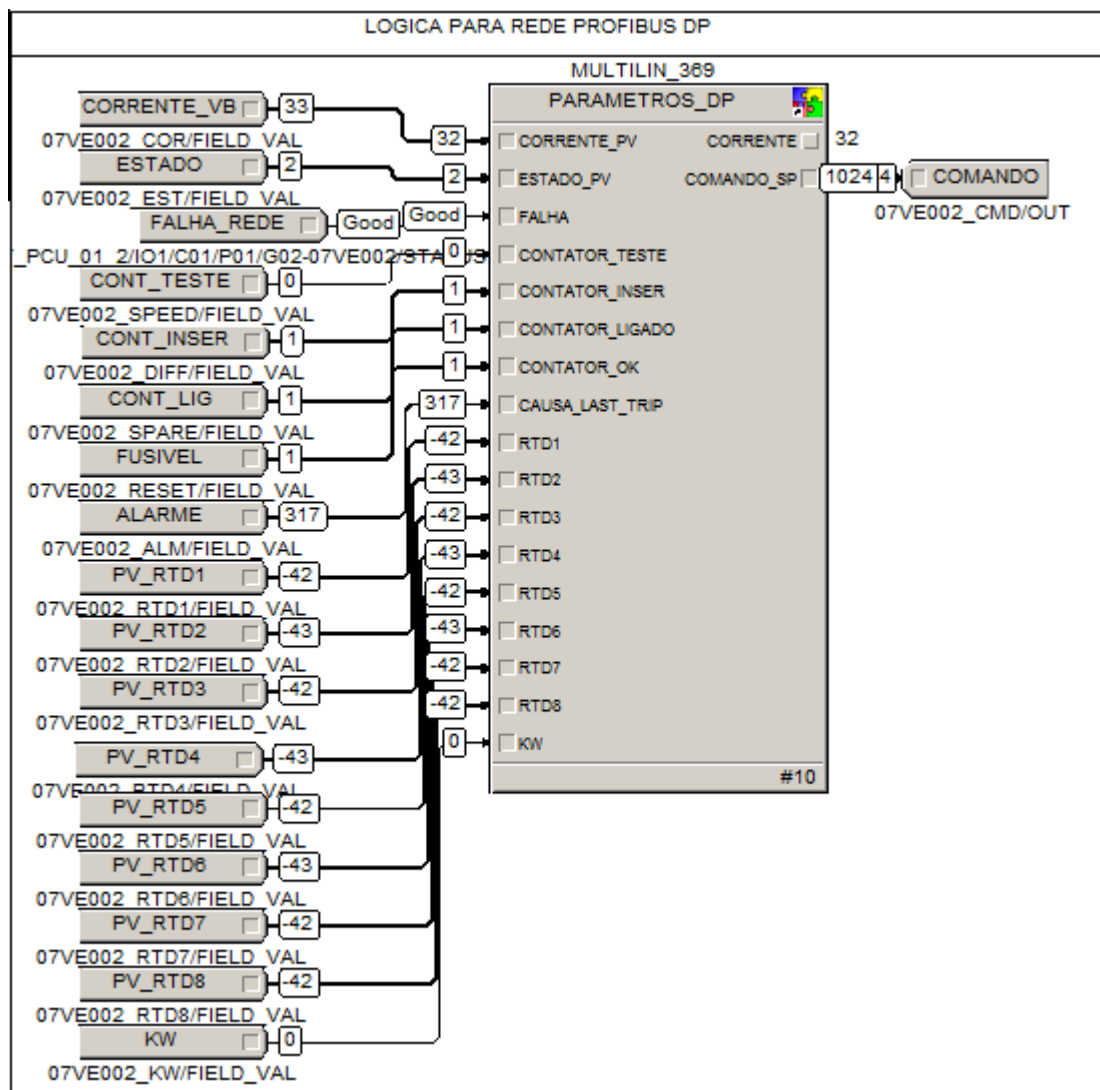
FIGURA 4.10 – Detalhe do *composite* de escrita e leitura do relé MULTILIN 369 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

A figura 4.11 apresenta a estrutura de comando do módulo de controle do soprador, entre os bloco principais estão o DC, responsável pela lógica de acionamento do motor. Além da estrutura convencional de um módulo de controle de equipamento, no controle do motor do soprador existem três temporizadores com funções importantes, que podem ser observados na figura 4.11. O primeiro para ligar o motor somente após ter verificado a abertura estável da válvula de admissão de ar, representado pelo bloco temporizador OND1, de 10 segundos. O segundo para contabilizar o tempo de estabilização da partida do motor, executado pelo bloco condicional TEMPO SEG, de 40 segundos. Após esse tempo, a válvula de escape fecha e os alarmes e falhas por corrente do motor ficam ativos, assim como a proteção anti-surto que

será apresentada no tópico 4.6. Por último, um temporizador ativado na parada do equipamento que assegura que a válvula de admissão só irá se fechar depois de um tempo que o motor foi desligado, bloco condicional TEMPO_DESL, de 20 segundos. Esse tempo é necessário para considerar a inércia do motor e evitar que haja sucção na linha de ar, com a válvula de admissão fechada.
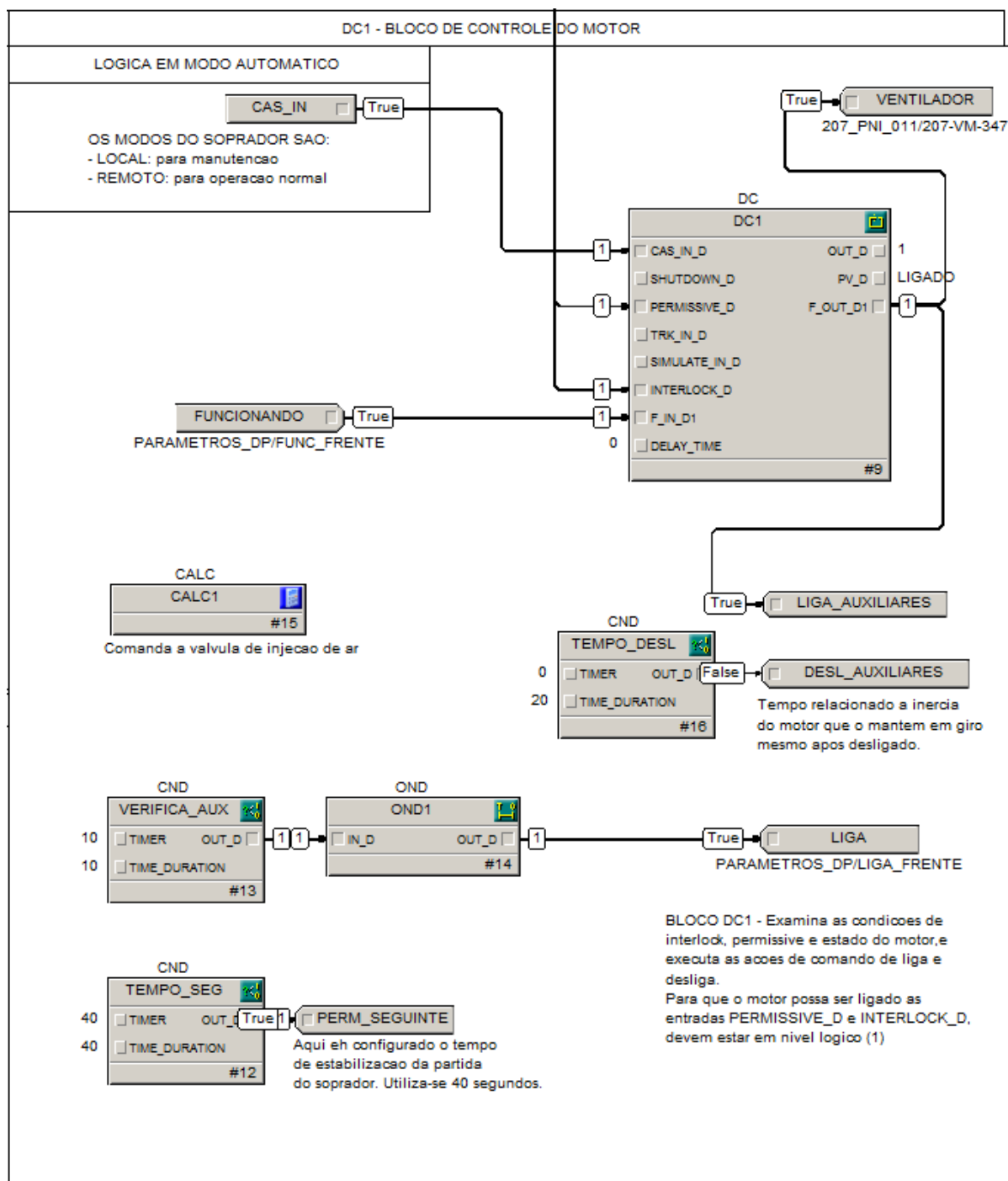
FIGURA 4.11 – Módulo do equipamento 07VE002 no sistema DeltaV.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Na partida do motor, sempre se aciona o ventilador do mesmo para garantir a sua refrigeração, para isso, o bloco DC de comando tem seu parâmetro de saída F_OUT_D acionando uma saída do módulo DIO 56601 no painel PNI para ligar o ventilador.

A válvula de admissão de ar deve estar aberta para que o motor possa ser ligado, para isso foi criado um script que força o modo de comando dessa válvula para automático no instante da partida, conforme a figura 4.12, apenas depois do tempo de confirmação da abertura da válvula que o motor do soprador recebe o comando de partida.
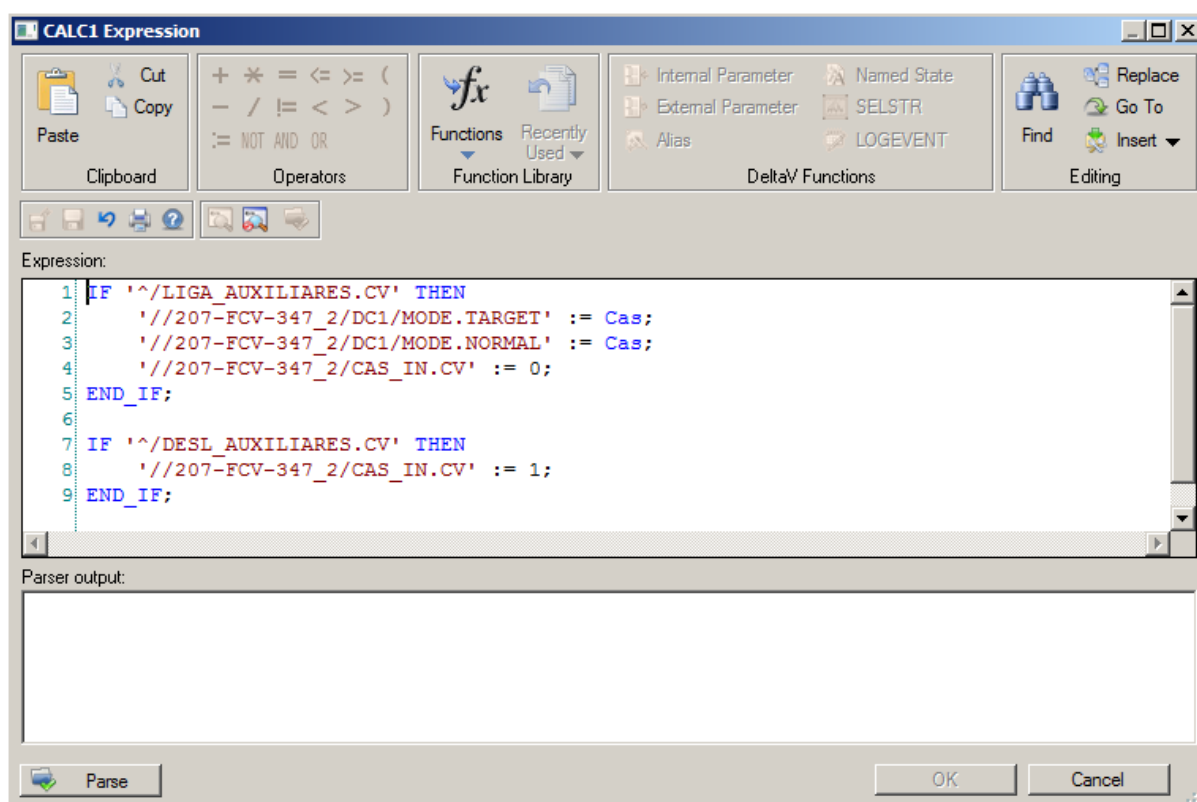
FIGURA 4.12 – Script do bloco CALC1 no módulo de controle do soprador.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Essa estratégia é adotada para garantir que caso o operador esqueça a válvula em modo manual, não ocorra partida com a válvula fechada por segurança do equipamento.

4.6 Estratégia de controle anti-surto

O sistema de controle anti-surto, conforme apresentado no item 2.3 do capítulo 2, baseia se na medição da corrente média do motor do soprador, já que tal grandeza está relacionada com a vazão interna do soprador (CONTINENTAL INDUSTRIE, 2006). A informação de corrente é adquirida do relé de proteção, GE Multilin 369. Portanto, basta acessar o sinal profibus referente à corrente conforme configurado no dispositivo de rede do relé. Sobre a

corrente, produzem-se, também, sinalizações de alarme e falha. No sentido de aumento da corrente, tem se as proteções de sobrecarga, e no de diminuição de corrente, tem-se as proteções de anti-surto. A região de operação é a que fica entre os dois alarmes: o de sobrecarga e o de surto. Os níveis de alarme e falha são assegurados por constantes ajustadas no ambiente de programação do controlador, conforme a figura 4.13.
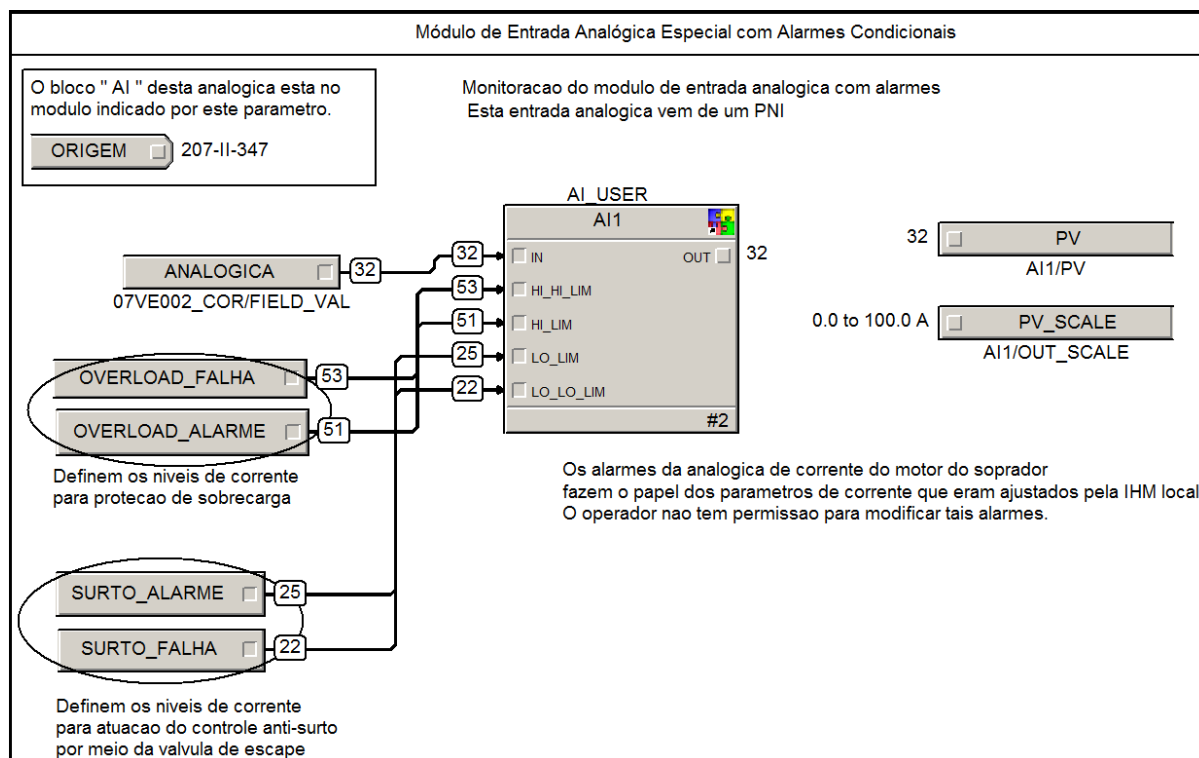
FIGURA 4.13 – Módulo de configuração da analógica de corrente do motor.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Para que o sistema de controle anti-surto funcione, são necessários o valor da corrente em tempo real, o valor ajustado para alarme de surto e a sinalização de que o alarme de surto está ativo ou não.

O valor instantâneo da corrente é a variável de processo do controlador PID. O valor ajustado para alarme de surto (alarme "Lo" de corrente) soma-se ao parâmetro de "MARGEM_SURTO" para produzir a referência do PID (set-point do PID).

O sistema *Fast Oppening* (abertura rápida) é ativado pelo *flag* que sinaliza que ocorreu alarme de surto (alarme "Lo" de corrente). Se o alarme ficar ativo por uma duração igual ao parâmetro "TEMPO_DISPARO", inicia-se uma rampa de subida que vai do valor "ZERO" até "OPPENING_VALUE" numa taxa (%/s) igual à "OPEN_FAST_RATE". E, se o alarme ficar inativo durante o mesmo "TEMPO_DISPARO", a válvula inicia uma rampa de descida

que vai de "OPPENING_VALUE" até "ZERO" numa taxa (%/s) igual à "CLOSE_SLOW_RATE". A rampa de descida é mais lenta que a rampa de subida. O valor solicitado pelo PID e pelo FASTOPPENING é comparado e o maior é selecionado e enviado para abertura da válvula de escape.

Na figura 4.14 é possível identificar os parâmetros citados na estratégia de controle anti-surto, esses parâmetros são entradas do sistema, podendo ser ajustados para adequações na estratégia caso seja necessário.

FIGURA 4.14 – Estratégia de controle anti-surto.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

O bloco "CALC2" altera o modo de operação do PID para manual, permitindo a atuação diretamente na saída, e ajusta a variável manipulada, a abertura da válvula de escape, para 100%, durante o tempo de estabilização de partida do motor. Isso faz com que a válvula de escape fique aberta durante a partida do soprador. Passado o tempo de estabilização, o PID retorna ao modo automático de operação. Nesse instante, a variável manipulada não volta imediatamente à zero, ou seja, a válvula de escape não fecha instantaneamente. Isso ocorre devido à parcela integral do PID que corrige o erro do sistema levando-o para zero. Portanto, para ajustar o tempo de fechamento da válvula de escape na partida do soprador deve-se alterar o parâmetro referente ao ganho integral do PID, o parâmetro “RESET” do bloco PID. Lembre-se, entretanto, que o valor do ganho proporcional, parâmetro “GAIN”, deve ser observado para que o PID não fique muito lento ou muito rápido quando o mesmo tiver que controlar a corrente na situação de surto. Na tabela C.2 do anexo C estão todos os parâmetros usados na configuração de um bloco PID.

TABELA 4.5 – Principais parâmetros da estratégia anti-surto.

ITEM	PARAMETRO	DESCRIÇÃO	VALOR
1	207-II-347/LOLO.ACT	Alarme muito baixo de corrente do motor	22 A
2	207-II-347/LO.ACT	Alarme baixo de corrente do motor	25 A
3	207-II-347/HI.ACT	Alarme alto de corrente do motor	51 A
4	207-II-347/HIHI.ACT	Alarme muito alto de corrente do motor	53 A
5	MARGEM_SURTO	Delta acima do alarme baixo de corrente	0,03
6	TEMPO_DISPARO	Tempo para ativar rampa	4 s
7	ZERO	Início da rampa	0 s
8	OPPENING_VALUE	Término da rampa	75 s
9	OPEN_FAST_RATE	Taxa da rampa de abertura	37,2 s
10	CLOSE_SLOW_RATE	Taxa da rampa de fechamento	1,875 s
11	GAIN	Ganho proporcional do PID	1,25
12	RESET	Ganho integral do PID	10

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

5 RESULTADOS

Implementadas as modificações em campo e no sistema de controle DeltaV fez-se necessário a realização de testes dos equipamentos, desde a instrumentação e acionamento até a operação assistida da máquina. Apenas após a conclusão dessas etapas é possível concluir o projeto baseado nos resultados obtidos.

5.1 Interface de supervisão

Como um dos objetivos do projeto é integrar os sopradores ao sistema de supervisão da planta, foram desenvolvidas na tela de "AR COMPRIMIDO" do sistema, as animações referentes aos sopradores 07VE001 e 07VE002, juntamente com o fluxograma do processo a que se aplicam. A figura 5.1 apresenta os sopradores na parte inferior da tela, sendo que o 07-VE-001 é o que aparece na cor vermelha, que simboliza que o equipamento está funcionando.
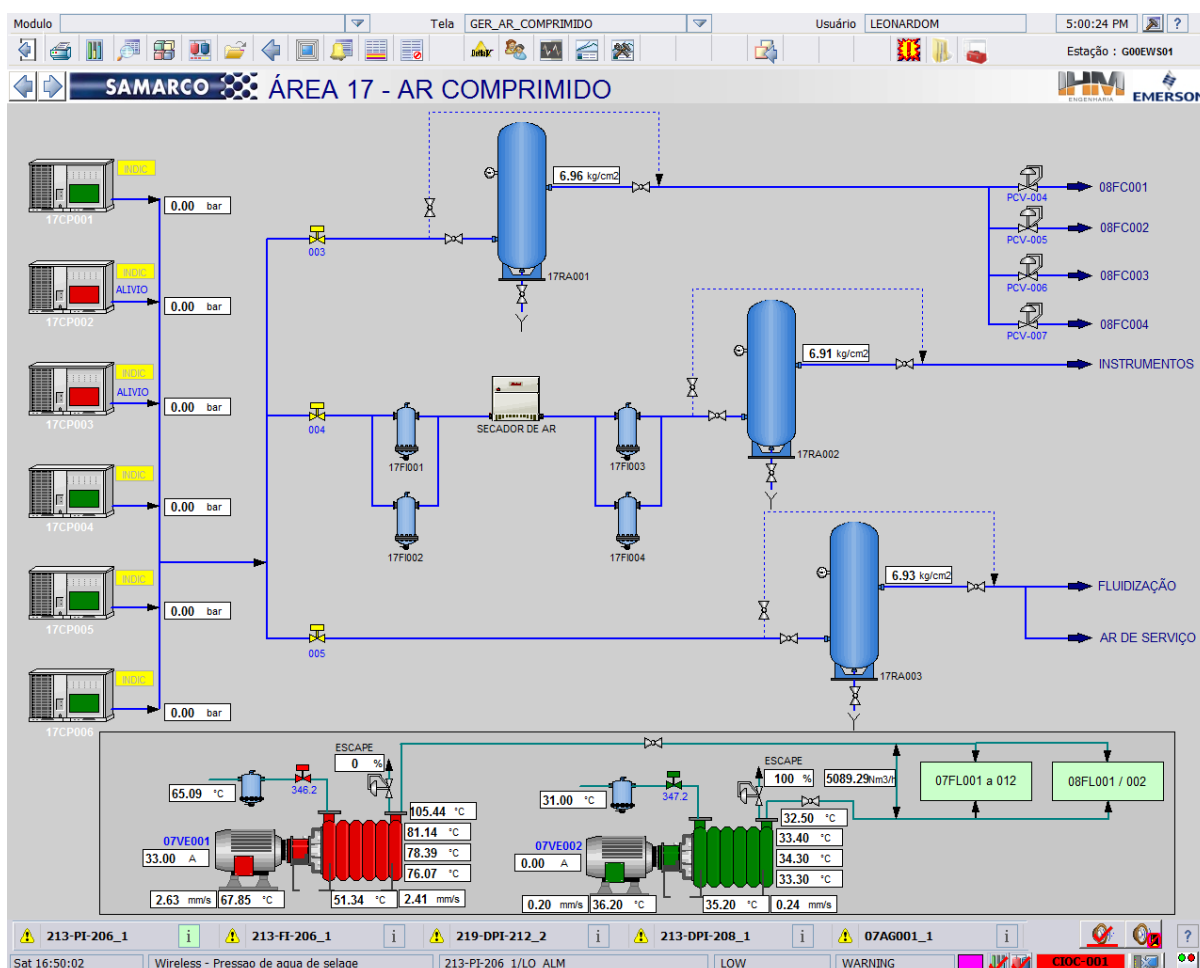
FIGURA 5.1 – Tela sinótica de operação e supervisão dos sopradores.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Observe o conjunto de indicações analógicas, o percentual de abertura da válvula de escape, a corrente do motor, vazão de saída estimada e as variáveis de proteção: temperatura e vibração. Essas informações estão diretamente na tela de operação para facilitar a visualização e uma possível atuação do operador da planta.

Ao clicar na animação do equipamento na tela abre-se a janela de comando, figura 5.2, que possibilita também verificar os defeitos, intertravamentos e detalhes dos defeitos presentes, a fim de dar um diagnóstico preciso ao operador para que o mesmo acione a manutenção com informações corretas.
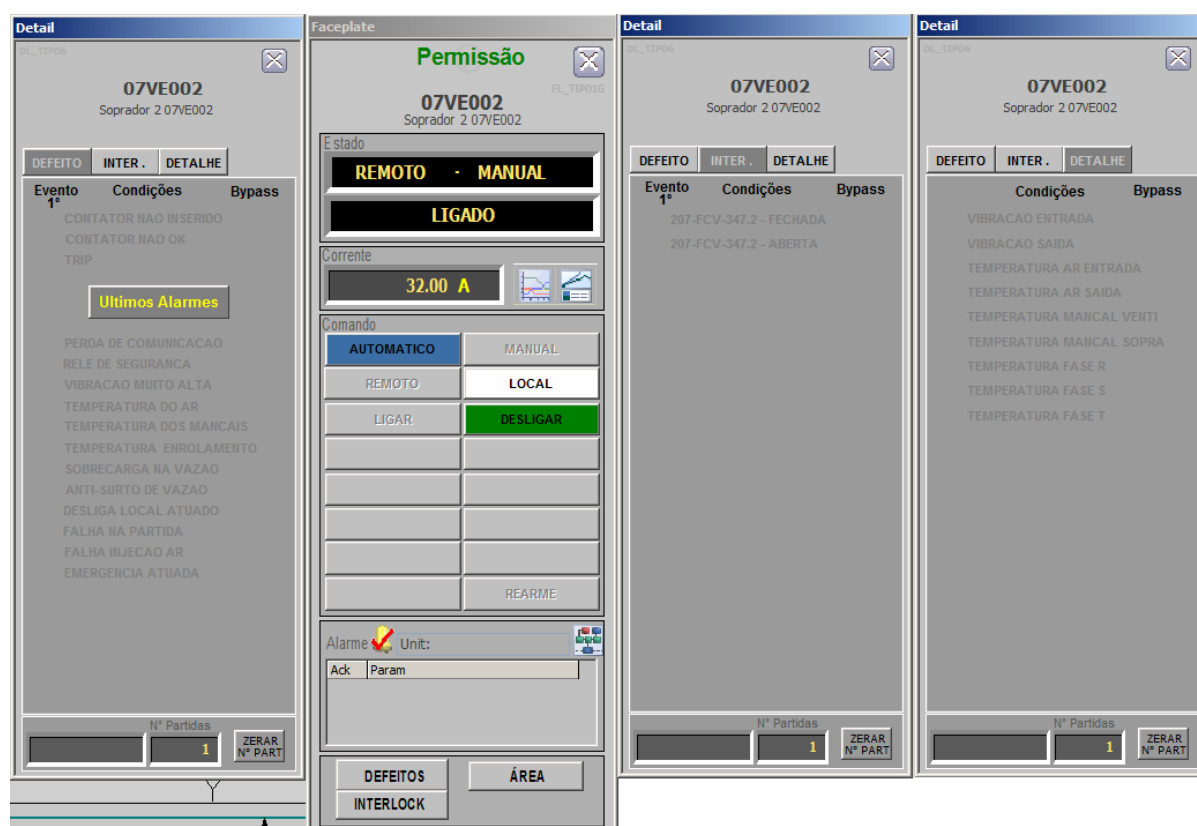
FIGURA 5.2 – Janela de comando com defeitos, intertravamentos e detalhes.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Na aba de DEFEITO estão todas as falhas do soprador incluindo as listadas na tabela 4.3. Além delas, as demais falhas incluídas são as de acionamento do motor, emergência local, botão desliga local atuado e a falha do sistema de injeção de ar que ocorre caso não se confirme a abertura da válvula de entrada durante o funcionamento do motor. Na aba de detalhes os defeitos são exibidos estratificados, apontando, por exemplo, qual das variáveis de temperatura teve seu limite atuado. Esse artifício é necessário, porque, devido ao grande número de falhas, os defeitos ultrapassariam a capacidade da janela principal de defeitos.

Um detalhe importante é que as falhas de vibração também são geradas caso o valor recebido do campo seja nulo, o que pode significar que o sensor está em defeito ou que o cabo se rompeu, isso comprometeria a integridade da máquina caso uma dessas falhas ocorressem e não fossem identificadas.

Os intertravamentos, na aba INTER, são condições que impedem o equipamento de rodar, mas que não configuram uma falha do mesmo, neste caso estão relacionados ao posicionamento da válvula de admissão de ar. Para partir o soprador, tal válvula deve estar fechada, e durante o funcionamento a mesma deve ser mantida aberta. Caso qualquer uma dessas condições não seja satisfeita o soprador desliga indicando que existe um intertravamento impedindo-o de funcionar.

5.2 Comissionamento e startup

Durante o comissionamento do equipamento foram realizados testes em todos os dispositivos instalados e configurados em campo, cube67, módulos de IO e relé Multilin. Além de garantir que esses dispositivos estavam comunicando com o controlador, todas as entradas e saídas foram testadas no teste ponto-a-ponto, esse tem a função de identificar possíveis falhas nas ligações ou nos instrumentos. A importância dos testes é assegurar que ao realizar o *startup* do equipamento todas as proteções e funcionalidades estejam em operação, diminuindo as possibilidades de erro.

Terminado o comissionamento e constatado que o equipamento está em condições de realizar o teste com carga, ou seja, executar efetivamente sua função de trabalho que é bombear ar para os tanques de flotação da usina de beneficiamento.

Após a partida do equipamento foi constatado que suas funcionalidades estavam dentro do programado, assim iniciando a verificação dos resultados obtidos com o projeto. O gráfico 5.1 evidencia o registro das principais variáveis de controle do soprador durante a partida, a linha verde é o valor da corrente do motor, a amarela é o valor da vazão de saída do soprador, e a vermelha corresponde à abertura da válvula de escape.
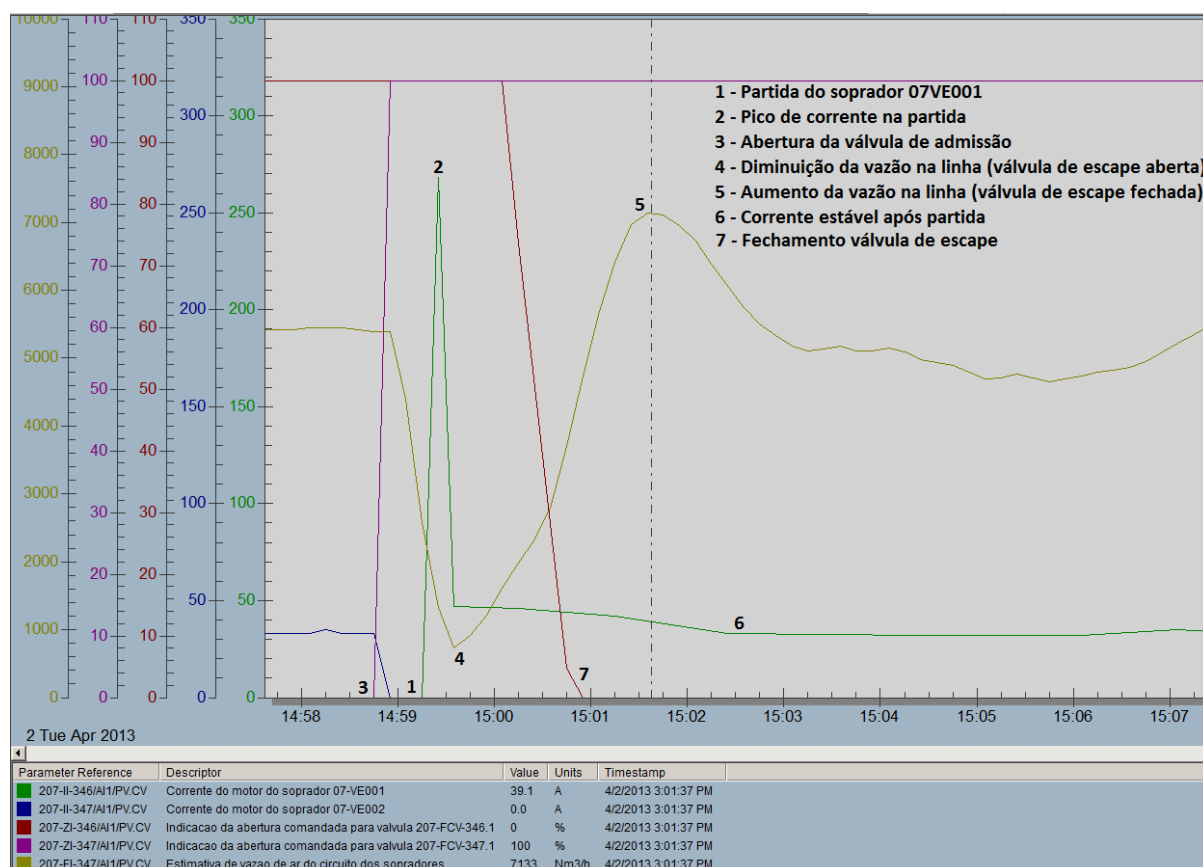
GRÁFICO 5.1 – Histórico da partida do soprador.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

É possível observar que o pico de corrente durante a partida não ocasiona uma parada já que o tempo de estabilização ainda não havia sido atingido. Após o tempo de estabilização, a válvula de escape inicia o fechamento, cujo tempo depende do ganho integral do PID, liberando a vazão de ar para o processo. Com o fechamento da válvula de escape a vazão de ar no processo aumenta, deixando de ser lançado para atmosfera e chegando até os tanques de flotação. Então, após o fechamento total da válvula essa vazão de ar no processo tem um pico e se estabiliza.

Concluída a partida do soprador, o mesmo entra em regime estável de operação, no gráfico 5.2 é possível identificar que tanto vazão de ar de saída (linha amarela), e corrente do motor (linha azul), estabilizam-se e representam a relação direta que possuem ao longo do tempo.
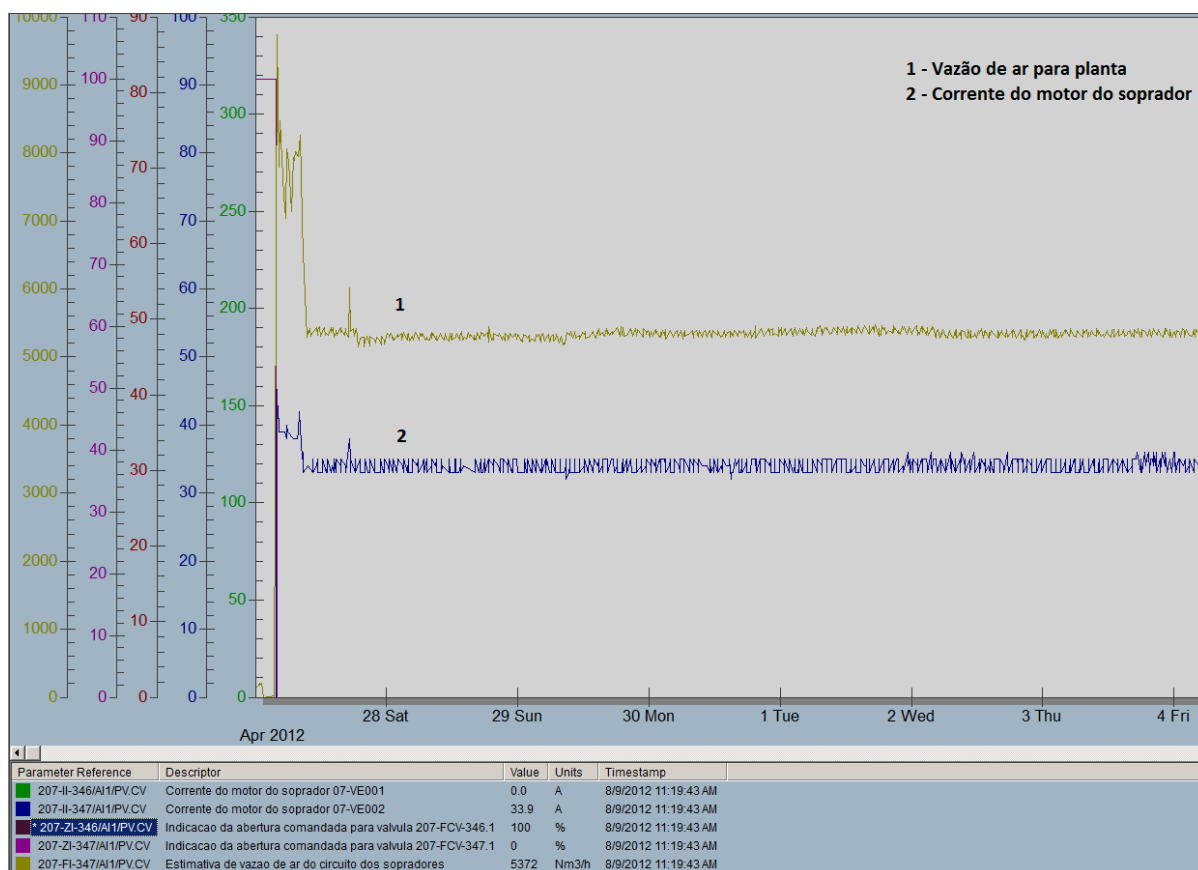
GRÁFICO 5.2 – Operação do soprador em regime permanente após partida.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

O gráfico 5.3 evidencia bem a relação entre essas variáveis, indicando que com os picos de demanda de ar (linha amarela), a corrente no soprador também sobe (linha azul). Essa correlação entre corrente e vazão é muito importante, lembrando que a mesma foi tomada como premissa para a estratégia de controle e devido a isso, toda a estratégia é baseada na corrente do motor. Essa informação foi obtida a partir do manual do fabricante do equipamento e confirmada nos testes de operação da máquina.
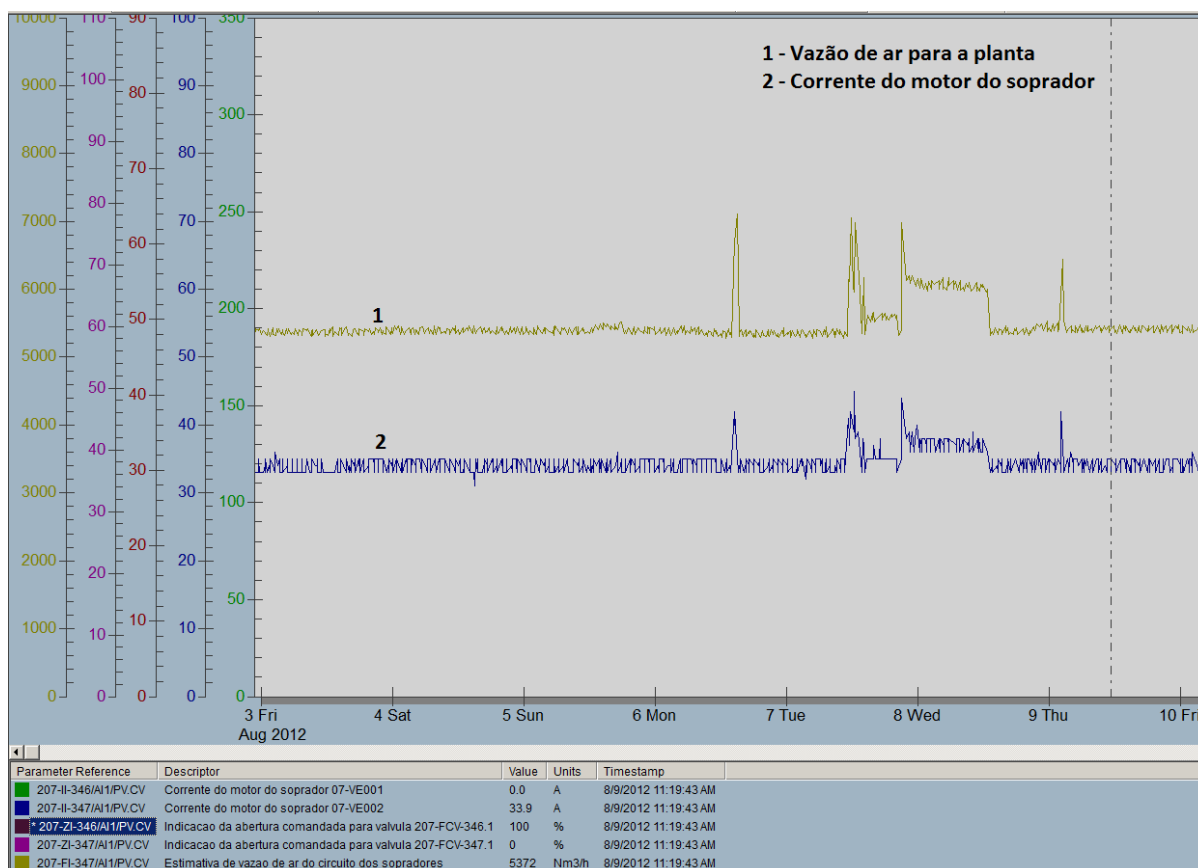
GRÁFICO 5.3 - Correlação da vazão de ar de processo com a corrente do soprador.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

5.2.1 Ação Anti-surto

A ação do controle anti-surto tem a função de evitar o desligamento da máquina simplesmente tornando a operação da mesma estável mesmo quando a planta demanda uma baixa vazão de ar.

Para simular essa situação foi realizada a redução da demanda de ar dos tanques, fechando-se as válvulas de controle que injetam ar nos *tank cells* uma a uma, reduzindo assim a vazão de ar significativamente. Como esperado, a partir de determinada vazão a corrente do soprador passou a diminuir atingindo o valor de alarme mínimo mais a margem de surto. Abaixo desse ponto, o controlador PID começa atuar, pois, identifica um erro entre a referência e o retorno de corrente, assim, a válvula de escape começa a abrir lançando o ar da saída do soprador para a atmosfera. Como a vazão do soprador tende a aumentar, sua corrente sobe novamente e o equipamento sai da região de risco de surto e se estabiliza. Ao iniciar a abertura das válvulas de ar dos tanques, há um aumento de vazão de ar devido a maior demanda da planta,

a corrente sobe, e assim a válvula de escape inicia o processo de fechamento porque a planta já está demandando ar suficiente para manter a operação do soprador estável.

É importante lembrar que a ação do PID é sempre conjunta à ação das rampas de abertura e fechamento, dessa forma, caso os fenômenos de subida ou descida da corrente se agravem, na comparação entre as ações do PID e da rampa, a ação da rampa será maior e então a válvula de escape irá abrir ou fechar rapidamente, de acordo com o fenômeno ocorrido, garantindo uma ação segura para a operação estável do soprador.

5.3 Liberação do equipamento para operação

Confirmada a efetividade do novo sistema de controle, incluindo todas as funcionalidades e proteções do equipamento, o mesmo foi liberado para operação. Essa liberação consiste em o técnico da sala de controle e o chefe de equipe da produção certificarem-se do funcionamento do equipamento e darem o “de acordo” para oficializar as mudanças.

Como previsto as alterações trouxeram grandes ganhos operacionais para máquina, sendo detalhados a seguir os principais deles.

Uma das funcionalidades que obteve grande sucesso foi a possibilidade de inverter o equipamento que está em operação para o reserva sem parada da planta. Essa manobra é realizada sempre que for detectado um problema operacional ou mesmo um alarme atuar e for necessário parar o soprador para uma intervenção. Assim, o operador liga o soprador reserva, aguarda o tempo de estabilização após partida e então desliga o outro equipamento. Tudo isso ocorre sem prejuízos ao processo de forma transparente. No gráfico 5.4 é possível constatar essa manobra, a linha verde representa a corrente do 07VE001, em determinado instante é possível identificar a abertura das válvulas de escape dos sopradores 07VE001 e 07VE002, caracterizando a partida do segundo e logo em seguida a parada do primeiro.
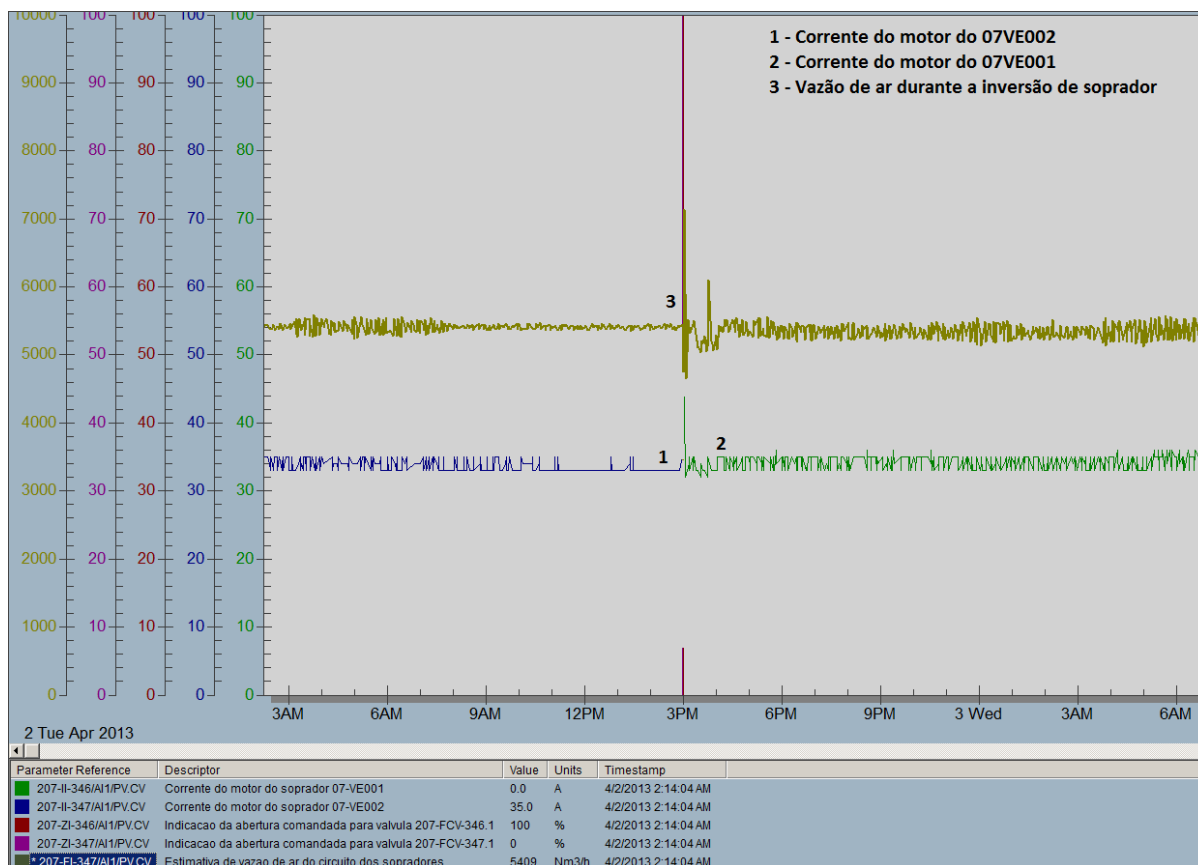
GRÁFICO 5.4 – Inversão de soprador para realização de manutenção sem parada de usina.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

Na sequencia observa-se que a corrente do soprador 07VE001 que estava rodando tende para zero e a corrente do segundo (linha azul), estabiliza em seu valor nominal indicando operação em regime estável. Também é possível notar que durante essa inversão de equipamento, a vazão de saída de ar para a planta não sofre alteração, ou seja, a manobra foi realizada com planta em plena operação.

Não menos importante que a funcionalidade mostrada anteriormente, o histórico de eventos e falhas do equipamento também auxilia muito a operação e a manutenção. No sistema de supervisão é possível verificar todos os eventos, sejam eles alarmes ou comandos, assim como os defeitos que causaram uma parada e a tendência histórica das variáveis do equipamento. No gráfico 5.5, é possível visualizar o histórico da corrente do 07VE001, sabendo exatamente o horário que o equipamento foi ligado, por exemplo, juntamente com o gráfico uma planilha indica cada ocorrência durante esse período, possibilitando ao operador ou à manutenção identificar problemas permitindo uma atuação precisa.

Parameter Reference	Descriptor	Value	Units	Timestamp
* 07VE002/PARAMETROS_DP/CORRENTE.CV	Soprador 2 07VE002	161.34		5/16/2013 12:28:19 PM

	Date/Time*	Event Type	Category	Area	Node	Unit	Module*	Module Description	Parameter	State	Level
716	5/16/2013 7:21:17.403 AM	EVENT		207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	VIBR-ALTA-SAIDA	INACT/ACK	
717	5/16/2013 7:21:16.403 AM	EVENT		207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	VIBR-ALTA-SAIDA	ACT/ACK	
718	5/16/2013 7:19:53.410 AM	EVENT		207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	VIBR-ALTA-SAIDA	INACT/ACK	
719	5/16/2013 7:19:52.411 AM	EVENT	INSTRUMENT	207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	VIBRACAO-ALTA	ACT/ACK	
720	5/16/2013 7:19:52.410 AM	EVENT		207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	VIBR-ALTA-SAIDA	ACT/ACK	
721	5/16/2013 7:16:20.425 AM	EVENT		207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	207FCV347-2-FECH	INACT/ACK	
722	5/16/2013 7:16:03.427 AM	EVENT	Eletrica	207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	CONTATOR-COLADO	INACT/ACK	
723	5/16/2013 7:16:03.426 AM	EVENT		207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	207FCV347-2-FECH	ACT/ACK	
724	5/16/2013 7:16:02.426 AM	EVENT	INSTRUMENT	207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	DEFEITO-GERAL	INACT/ACK	
725	5/16/2013 7:16:01.426 AM	EVENT	Eletrica	207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	CONTATOR-COLADO	ACT/ACK	
726	5/16/2013 7:16:00.427 AM	EVENT	INSTRUMENT	207PCU001_	207_PCU_01		07VE002	Soprador 2 07VE002	DEFEITO-GERAL	ACT/ACK	
727	5/16/2013 7:15:57.912 AM	CHANGE	USER	207PCU001_	G22OWS02		07VE002	Soprador 2 07VE002	DC1/SP_D.CV		

Record 722

GRÁFICO 5.5 – Detalhe dos eventos ocorridos na máquina.
Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO, 2011.

No exemplo em destaque, no momento da partida ocorreu o defeito “FALHA INJEÇÃO AR”, com essa informação o operador acionou a manutenção, que por sua vez tendo a informação correta, atuou e liberou o equipamento rapidamente, permitindo que na sequencia entrasse em operação.

Um histórico completo de cada equipamento é cuidadosamente armazenado em banco de dados em um servidor específico para esse fim, garantindo a integridade e estando sempre disponível no sistema de supervisão. É possível realizar pesquisas, filtrar informações, imprimir relatórios, tudo de acordo com a necessidade. Tem-se um sistema completo à disposição para garantir uma alta disponibilidade do equipamento e consequentemente da usina.

6 CONCLUSÃO

A engenharia reversa realizada no sistema de controle embarcado dos sopradores de ar possibilitou o acesso a informações muito importantes para a realização do trabalho. Tais informações levaram a decisões como a modernização e individualização dos painéis de instrumentação. Além disso, foi com base nos dados levantados que a nova estratégia anti-surto foi construída, informações contidas no manual do equipamento, como que a corrente do motor é proporcional à vazão de ar da máquina, ou nos artigos sobre controle anti-surto que um controlador PID executava o controle com eficiência adequada, foram muito úteis no desenvolvimento do projeto e afirmam a importância de uma revisão bibliográfica bem qualificada.

De posse das informações necessárias, o sistema de controle embarcado foi substituído pelo novo sistema integrado aos controladores da planta e ao sistema de supervisão. Como previsto, nos testes realizados durante o comissionamento e startup, nenhuma funcionalidade da máquina deixou de ser executada. Além disso, as melhorias previstas na implantação do projeto, como sistema de controle independente possibilitando a manutenção de uma máquina enquanto a outra opera, operação remota via sala de controle permitindo acesso ao histórico de eventos e falhas, sistema de alarmes eficiente melhorando a ação da manutenção e ainda possibilidade de inversão da operação do equipamento sem riscos de parada da planta, foram todas implantadas com sucesso e trouxeram grandes benefícios ao processo.

Como objetivo final, conseguiu-se aumentar a confiabilidade do equipamento, desde a migração do sistema não ocorreram mais paradas não programadas e a manutenção realiza um acompanhamento dos equipamentos monitorando suas variáveis e executando o plano de manutenção preventiva. Assim, as perdas financeiras ocasionadas por paradas de usina devido a falhas nos sopradores deixaram de ocorrer, o que contribui significativamente para a melhoria contínua nas operações da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, T. **DeltaV SIS Process Safety Sistem**. Emerson Process Management, 2011.

CHAVES, A.P. **Flotação: Estado da arte no Brasil**. Brasil, Signus, 1ª edição, volume 4, 2006.

CONTINENTAL INDUSTRIE. **Instalation, use &maintence of Blowers**. França, 2006.

EMERSON PROCESS MANAGEMENT. **DeltaV Books Online**. Estados Unidos, 2006.

GASTON, J.R. **TurbocompressorAntisurge Control, New Solution for an Old Problem**. The American Society of Mechanical Engineers, 92-GT-428, Presented at the International Gas Turbine And Aero engine Congress and Exposition, Cologne, Alemanha, Junho, 1992).

GENERAL ELECTRIC. **369 Motor Management Relay Instruction Manual**. Canada, 2010. Disponível em: < http://www.gedigitalenergy.com/app/ViewFiles.aspx?prod=369&type=3 > Acessado em: 17 FEV. 2013.

GUIMARÃES, R. C.; PERES, A. E. C. **Máquinas de flotação**, Boletim Técnico BT/PMI/046, Escola Politécnica DEM-USP, São Paulo, 1995.

IEC 61131-3:2003, **Programmable controllers**, Part 3: Programming languages, 2003.

JUNIOR, A. J. S. C.; SOUZA, S. A.; MOUTINHO, D. S.; LOHNEFINK, F.P. **Engenharia Reversa**. Monografia (Graduação Ciência da Computação), Universidade Federal Fluminense - UFF, Rio de Janeiro, 2005.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**. CETEM, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2004.

MURR ELEKTRONIK. **Instruction manual for Cube67+ BN-P**. Version 2.1, Edition 04_11EN, Manual Number 56521. Alemanha, 2010a.

MURR ELEKTRONIK. **System Manual For Modules Of The Cube67 Series**. Version 2.2, Manual Number 56970. Alemanha, 2010b.

NOGUEIRA, T. B. R.; LEPIKSON H. A. **Um método de engenharia reversa para projeto de produto mecatrônico aplicado à pequena e média empresa**. 9f. Artigo (Engenharia de Produção - XXVI ENEGEP), Ceará, 2006.

OGATA K. **Engenharia de controle moderno**. 4ª edição, Brasil, Prentice Hall, 2003.

OUTOKUMPU, Tecnologia do Brasil Ltda. Brasil, **Proposta Técnica SBP-1304/04-T1**. Adequação das instalações industriais para 17 MTPA. Células de Flotação. 2004.

PALMEIRÃO, I.A.Q. **Reengenharia da Unidade de Dessulfuração de Gasóleo da Refinaria da Galp.** Portugal, Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

PONTICELLI, C.; SUSKI, C. A. **O avanço do desenvolvimento de produtos através da engenharia reversa**. Brusque, Revista da Unifebe - Centro Universitário de Brusque, 2009.

Disponível em: < http://www.unifebe.edu.br/revistadaunifebe/2010/artigo007.pdf >. Acessado em: 10 DEZ 2012.

SAMARCO MINERAÇÃO, **Documentos internos**, Mariana, 2011.

VENTZAS, D.; PETROPOULOS, G. **Industrial Compressor Anti-Surge Computer Control**. Grécia, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007.

ANEXO A – Blocos de função do sistema DeltaV

Nas Tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6 e A.7 apresenta-se os blocos de função do sistema de controle distribuído DeltaV da Emerson Process Management.

A.1 - Blocos de Entradas e Saídas

Nome	Descrição
Alarm Detection	Permite especificar alarmes em parâmetros obtidos de entradas ou provenientes de resultados de outros blocos. Os parâmetros gerados por este bloco podem posteriormente ser utilizados pelo *DeltaV Operate* para gerar alarmes.
Analog input	Acede ao valor medido num canal de entrada/saída.
Analog Output	Atribui o seu valor de saída a um canal de entrada/saída.
Discrete Input	Acede a um valor discreto, podendo ser configurado para gerar alarmes e inversão do sinal de entrada.
Discrete Output	Escreve num canal de entrada/saída um valor de referência predefinido pelo utilizador ou definido pela saída de outro módulo, permitindo ainda fazer inversão do sinal.
Fieldbus Multiple Discrete Input	Combina as oito entradas de uma carta de entradas discretas e disponibiliza-as a outros blocos sob a forma de uma entrada de oito bits.
Fieldbus Multiple Discrete Output	Coloca um valor de referência de oito bits nos oito canais de entrada/saída de uma carta de saídas discretas.
Multiplexed Analog Input	Permite processar até oito medições de um equipamento Fieldbus.
Pulse Input	É utilizado para fazer contagem de impulsos.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

A.2 - Blocos de Controlo Analógico

Nome	Descrição
Bias/Gain	Gera uma saída cujo valor é a entrada acrescida de um offset e por sua vez multiplicada por um ganho.
Calculation/Logic	Permite ao utilizador especificar uma expressão em texto estruturado para determinar as saídas. Estes blocos podem ter até 16 entradas e 16 saídas.
Control Selector	Coloca na saída uma de três entradas associadas a controladores PID. A escolha da entrada seleccionada depende do tipo de selecção que pode ser a do valor mais elevado a do valor menos elevado ou a do valor central.
Filter	Faz a filtragem de sinais ruidosos tornando-os mais constantes.
Input Select	Coloca na saída uma de quatro entradas mediante um critério de escolha (máximo, mínimo, média).
Fieldbus Input Selector Extended	Semelhante ao anterior mas em vez de quatro entradas possui oito.
Lead/Lag	Introduz um avanço, um atraso ou ambos.
Limit	Limita o valor de entrada entre dois valores pré-definidos.
Manual Loader	Permite ao utilizador definir o valor de saída do bloco.
PID	Implementa um controlador PID.
Ramp	Gera uma rampa crescente ou decrescente. É utilizado p.ex. em arranque suave de motores.
Rate Limit	Limita a taxa de variação do sinal de saída a um valor pré-definido.
Ratio	Coloca na saída o valor da entrada primária multiplicada pela razão pretendida entre as duas entradas.
Scaler	Para efetuar mudanças de escala.
Signal Characterizer	Permite fazer linearizações de sinais sendo necessário definir até vinte pontos da função que se pretende linearizar.
Signal Generator	Gera um sinal que simula um processo, utilizando uma combinação específica de uma onda sinusoidal com uma onda quadrada, um offset e um valor aleatório.
Signal Selector	Seleciona o máximo, o mínimo ou a média de até dezesseis entradas.
Splitter	Através de um sinal de entrada gera dois sinais de saída, com base numa matriz.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

A.3 - Blocos Matemáticos

Nome	Descrição
Absolute Value	Devolve o valor absoluto da entrada.
Add	Gera um valor de saída correspondente à soma de até dezesseis entradas.
Arithmetic	Permite fazer alguns tipos de compensação de fluxos mediante configuração de parâmetros e entradas.
Comparator	Gera uma saída booleana baseada na comparação de duas entradas. O critério de comparação é configurável.
Divide	Faz a divisão de uma entrada pela outra.
Integrator	Integra uma entrada ou então a soma ou subtração de duas.
Multiply	Multiplica entre duas a dezesseis entradas.
Subtract	Subtrai uma entrada à outra.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

A.4 – Blocos Temporizadores e Contadores

Nome	Descrição
Counter	A saída fica ativa quando a contagem atinge um valor pré-determinado.
Date Time Event	Fornece funções de data e hora e permite agendar eventos.
Off-Delay Timer	Atrasa a transição de uma entrada discreta para inativa por um período de tempo pré-definido.
On-Delay Timer	Atrasa a transição de uma entrada discreta para ativa por um período de tempo pré-definido.
Retentive Timer	Coloca a saída ativa se a entrada estiver ativa por um determinado período de tempo.
Timed Pulse	Gera na saída um impulso de duração pré-determinada quando ocorre uma transição de inativa para ativa da entrada.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

A.5 - Blocos Lógicos

Nome	Descrição
Action	Executa uma expressão definida em texto estruturado sempre que a entrada está ativa.
And	Gera uma saída discreta baseada na operação lógica AND de entre duas a dezesseis entradas.
Bi-directional Edge Trigger	A saída é um impulso de duração correspondente à taxa de execução do módulo sempre que ocorre uma transição na entrada (ativa – inativa ou inativa – ativa).
Boolean Fan Input	Gera uma saída discreta baseada na soma pesada, estado ou operação lógica OR de uma a dezesseis entradas discretas.
Boolean Fan Output	Descodifica uma entrada binária em bits individuais e gera uma saída discreta para cada bit.
Condition	Avalia uma expressão booleana declarada em texto estruturado e caso esta seja verdadeira ativa a saída, caso contrário desativa-a.
Device Control	Implementa uma máquina de estados controlada pelas entradas com base numa tabela de verdade. Frequentemente utilizado para controlo discreto de motores e válvulas.
Multiplexer	Coloca na saída uma de até dezesseis entradas. A escolha da entrada a colocar na saída é realizada pelo operador ou pela saída de outro bloco.
Negative Edge Trigger	Gera um impulso com a duração do tempo de execução do módulo sempre que a entrada passe de ativa para inativa.
Not	Inverte o sinal discreto de entrada.
Or	A saída é gerada com base na operação lógica OR de até dezesseis entradas.
Positive Edge Trigger	Gera um impulso com a duração do tempo de execução do módulo sempre que a entrada passe de inativa para ativa.
Reset/Set Flip-flop	O valor de saída é um valor discreto baseado na operação lógica NOR entre as entradas SET e RESET.
Set/Reset Flip-flop	Gera uma saída discreta que tem por base a operação lógica NAND entre as entradas SET e RESET.
Transfer	Seleciona um de dois sinais analógicos de entrada mediante o estado da entrada SELECTOR (ativa – IN_1, inativa – IN_2).

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

A.6 - Blocos de Controlo Avançado

Nome	Descrição
Diagnostic	Este bloco possibilita monitorizar equipamentos de campo para posterior análise pela aplicação InSight.
Fuzzy Logic Control	Implementa controladores baseados em lógica difusa.
Inspect	Este bloco serve para fazer estatísticas da performance de células processuais ou de todo o sistema.
Lab Entry	Permite ao usuário fazer entradas de resultados de análises laboratoriais para utilizar em redes neuronais.
Model Predictive Control	
Model Predictive Control Process Simulator	Utilizados em sistemas de controlo avançado (Advanced Process Control – APC)
Model Predictive Control Professional	
Neural Network	Permite criar sensores virtuais para estimar a saída de um processo baseada nas suas entradas utilizando redes neurais.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

A.7 - Itens Especiais

Nome	Descrição
Output Parameter	Parâmetro de saída possível de ser utilizado por outros módulos.
Internal Read Parameter	Variável interna de leitura para uso exclusivo do módulo.
Internal Write Parameter	Igual ao anterior mas em vez de uma variável de leitura é uma variável de escrita.
Custom Block	Permite adicionar ao módulo outros módulos já criados, criando bibliotecas de blocos customizados chamados *composites*.
Physical Block	Semelhante ao anterior mas o módulo adicionado reside num equipamento Fieldbus.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

ANEXO B – Aplicações que compõem o sistema DeltaV

Nas Tabelas B1, B2 e B3 apresenta-se as aplicações que compõem o sistema de controle distribuído DeltaV da Emerson Process Management.

B.1 – Ferramentas de engenharia do DeltaV.

Aplicação	Descrição
Auto Update Service	O serviço de atualização automática serve para determinar quais os arquivos devem ser automaticamente transferidos da estação ProfessionalPLUS para as demais estações depois de um nó do barramento de controle ser descarregado.
Configuration Assistant	O assistente de configuração ajuda os utilizadores inexperientes a configurar o sistema.
Continuous Historian Administration	Esta aplicação só pode ser executada na estação onde é realizado o histórico, fornecendo um conjunto de ferramentas para a gestão de dados de histórico.
Control Studio	O *Control Studio* é utilizado para criar e modificar os módulos de controle responsáveis pelo controle do processo. Esta aplicação permite ao usuário construir os módulos de controle arrastando itens de uma biblioteca para o diagrama e posteriormente interliga-los para definir um algoritmo. O *Control Studio* suporta um conjunto de conceitos industriais como os *Function Block Diagrams* e os *Structured Function Charts*, sendo possível utilizar elementos de ambas as linguagens dentro do mesmo módulo de controle. Estas linguagens gráficas são baseadas na norma IEC 61131-3 [4], sendo os blocos função desenvolvidos mediante o padrão da *Foundation Fieldbus*.
Database Administrator	Esta aplicação proporciona a um utilizador com privilégios de administrador um conjunto de ferramentas que lhe permitem realizar tarefas de manutenção da base de dados tais como: criar, apagar e copiar bases de dados bem como realizar cópias de segurança das bases de dados existentes.
DeltaV Explorer	O DeltaV Explorer tem um aspecto semelhante ao Windows Explorer. Esta aplicação permite ao utilizador ver toda a estrutura do sistema e definir os seus componentes, tais como: áreas, nós, alarmes e módulos. Esta aplicação é o centro das aplicações de engenharia possibilitando criar, apagar e mover módulos, configurar todo o hardware do sistema, definir tipos e prioridades dos alarmes, bem como executar outras aplicações do sistema.
DeltaV Operate (Configure)	Esta aplicação pode ser executada em dois modos, o de configuração e o modo run. No modo de configuração permite criar ambientes gráficos de alta resolução para monitorização dos processos. É possível adicionar ao interface com o utilizador imagens, texto, animações, gráficos, sons, bem como os chamados dynamos sendo estes gráficos reutilizáveis na construção de múltiplos interfaces.
DeltaV FlexLock	O DeltaV Flex Lock cria dois ambientes de trabalho duais, um para o Windows e outro para o DeltaV, proporcionando assim um ambiente de operação seguro e aberto ao mesmo tempo. O acesso aos ambientes de trabalho depende dos privilégios do utilizador.

Recipe Studio	O Recipe Studio é utilizado para criar e modificar receitas. Uma receita é um conjunto de informação que identifica os ingredientes, as suas quantidades e o equipamento necessário para produzir um produto.
System Alarm Management	Esta aplicação proporciona ao utilizador uma forma simples e eficiente de ver, habilitar, desabilitar e definir limites e prioridades para múltiplos alarmes.
System Preferences	Esta aplicação permite personalizar as ferramentas de engenharia de modo a possuírem apenas as funções requeridas pelo utilizador sem necessidade de adicionar ou remover software.
User Manager	Com esta ferramenta é possível especificar níveis de acesso de grupos ou indivíduos com diferentes privilégios.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

B.2 – Ferramentas de operação do DeltaV.

Aplicação	**Descrição**
Batch History View	Esta aplicação permite interagir com a base de dados de histórico do Batch, possibilitando ver os dados em vários formatos e adicionar comentários ao histórico.
Batch Operator Interface	O Batch Operator Interface é a interface gráfica utilizada pelo operador para interagir com as operações de Batch, proporcionando diversas vistas do processo.
DeltaV Login	Esta aplicação permite aos operadores entrar e sair no sistema através de registo do nome de usuário e senha, além disso permite visualizar qual o operador que está registrado e alterar a senha.
Diagnostics	Esta ferramenta fornece informação sobre o estado e integridade dos equipamentos que compõem o sistema.
DeltaV Operate (Run)	O DeltaV Operate em modo run é a interface gráfica entre o operador e o controle do processo, permitindo a sua supervisão.
MPC Operate	Controlo avançado. Implementam modelos preditivos.
MPC Operate Pro	
Process History View	Esta aplicação apresenta dados de tempo real assim como de histórico sobre a forma de gráficos bem como eventos sobre forma de tabelas. O Process History View é geralmente utilizado para avaliar o comportamento de um processo ou equipamento ao longo do tempo.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

B.3 – Ferramentas de controle avançado do DeltaV.

Aplicação	Descrição
DeltaV Neural	Esta aplicação proporciona um conjunto de ferramentas utilizadas para implementar redes neurais, permitindo assim criar sensores virtuais para monitorização ou previsão de parâmetros que de outra forma seriam muito difíceis medir.
DeltaV Predict	Permite implementar controle preditivo em pequenos e médios processos.
DeltaV Predict Pro	Esta ferramenta é semelhante à anterior mas permite a sua utilização em processos multi-variável mais complexos.
DeltaV Simulate Suite	Esta aplicação permite instalar o DeltaV num PC, permitindo fazer todo o tipo de configurações off-line sem necessidade do hardware. Este tipo de estações de trabalho é geralmente utilizado para desenvolvimento off-line durante projeto e para treinamento de operadores.
Inspect with InSight	A ferramenta permite identificar malhas com fraco desempenho bem como equipamento de campo com mau funcionamento.
Tune with InSight	É uma ferramenta para fazer *tuning* de malhas de controle, podendo este ser realizado de duas formas, por ordem do utilizador ou adaptativo, sendo este último baseado em algoritmos de auto-aprendizagem.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

ANEXO C – Parâmetros de blocos de controle analógico no sistema DeltaV.

Nas Tabelas C.1 e C.2 apresenta-se os parâmetros de configuração de blocos de funções analógicas que compõem o sistema de controle distribuído DeltaV da Emerson Process Management.

C.1 – Parâmetros do bloco *analog inp*ut (AI).

Parâmetro	Função
module_name	Nome do módulo.
description	Descrição do módulo.
ctrlr	Controlador onde o módulo é executado.
area	Área onde o módulo está inserido.
module_subtype	Nome do típico de módulo em que se baseia.
scan_rate	Taxa de execução do módulo.
primary_display	Interface gráfica a que pertence, *faceplate*.
AI1/L_TYPE.STRING_VALUE	Tipo de linearização da entrada.
AI1/HI_HI_LIM.CV	Limite de alarme de valor muito alto.
AI1/HI_LIM.CV	Limite de alarme de valor alto.
AI1/IO_IN.REF	Canal associado ao bloco de entrada.
AI1/LO_LIM.CV	Limite de alarme de valor baixo.
AI1/LO_LO_LIM.CV	Limite de alarme de valor muito baixo.
AI1/OUT_SCALE.EU100	Fim de escala do bloco de entrada.
AI1/OUT_SCALE.EU0	Inicio de escala do bloco de entrada.
AI1/OUT_SCALE.UNITS	Unidades da variável associada ao bloco de entrada.
AI1/XD_SCALE.EU100	Fim de escala do transmissor. Nos equipamentos com comunicação HART este parâmetro é predefinido, sendo igual ao fim de escala da saída do bloco de entrada.
AI1/XD_SCALE.EU0	Inicio de escala do transmissor. Nos equipamentos com comunicação HART este parâmetro é predefinido, sendo igual ao inicio de escala da saída do bloco de entrada.
AI1/XD_SCALE.UNITS	Em equipamentos com comunicação HART este parâmetro é predefinido, caso contrário corresponde às unidades definidas para a variável de entrada.
HI_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor alto.
HI_HI_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor muito alto.
LO_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor baixo.
LO_LO_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor muito baixo.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.

C.2 – Parâmetros do bloco PID.

Parâmetro	**Função**
module_name	Nome do módulo.
description	Descrição do módulo.
ctrlr	Controlador onde o módulo é executado.
area	Área onde o módulo está inserido.
module_subtype	Nome do típico de módulo em que se baseia.
scan_rate	Taxa de execução do módulo.
primary_display	Interface gráfica a que pertence, *faceplate*.
AI1/IO_IN.REF	Canal associado ao bloco de entrada.
AI1/L_TYPE.STRING_VALUE	Tipo de linearização da entrada.
AI1/OUT_SCALE.EU100	Fim de escala do bloco de entrada.
AI1/OUT_SCALE.EU0	Inicio de escala do bloco de entrada.
AI1/OUT_SCALE.UNITS	Unidades da variável associada ao bloco de entrada.
AI1/XD_SCALE.EU100	Fim de escala transmissor. Nos equipamentos com comunicação HART este parâmetro é predefinido, nos equipamentos sem comunicação HART é igual ao fim de escala da saída do bloco de entrada.
AI1/XD_SCALE.EU0	Inicio de escala o transmissor. Nos equipamentos com comunicação HART este parâmetro é predefinido, nos equipamentos sem comunicação HART é igual ao inicio de escala da saída do bloco de entrada.
AI1/XD_SCALE.UNITS	Em equipamentos com comunicação HART este parâmetro é predefinido, caso contrário corresponde às unidades definidas para a variável de entrada.
AO1/IO_OPTS.IncrToClose	Tipo de ação da válvula.
AO1/IO_OUT.REF	Canal associado ao bloco de saída.
PID1/CONTROL_OPTS.DirectActing	Tipo de ação do controlador PID.
PID1/GAIN.CV	Ganho proporcional do controlador.
PID1/HI_HI_LIM.CV	Limite de alarme de valor muito alto.
PID1/HI_LIM.CV	Limite de alarme de valor alto.
PID1/LO_LIM.CV	Limite de alarme de valor baixo.
PID1/LO_LO_LIM.CV	Limite de alarme de valor muito baixo.
PID1/PV_SCALE.EU100	Fim de escala, inicio de escala e unidades do valor de entrada do controlador. São iguais aos do bloco de entrada.
PID1/PV_SCALE.EU0	
PID1/PV_SCALE.UNITS	
PID1/RATE.CV	Tempo derivativo em segundos.
PID1/RESET.CV	Tempo integral em segundos.
PID1/SP_HI_LIM.CV	Limite máximo da referência.
PID1/SP_LO_LIM.CV	Limite mínimo da referência.
HI_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor alto.
HI_HI_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor muito alto.
LO_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor baixo.
LO_LO_ALM.ENAB	Habilita alarme de valor muito baixo.

Fonte: PALMEIRÃO, 2009.